

Sammanfattande slutrapport för projektet Rest till Bäst

(steg 2)

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Huvudförfattare: Markus Paulsson, Lunds kommun.

Medförfattare: David Andersson (Ecoera), Jenny Bengtsson (Sustainable business hub), Sven-Olof Bernhoff (Skånefrö), Larsola Bromell (Malmö stad), Olivia Cintas (Rise), Kent Davidsson (Rise), Lotta Ek (Ecotopic), Johan Eriksson (Uppsala kommun), Ann-Mari Fransson (SLU), Mattias Gustafsson (Ecotopic), Johannes Hagström (Trelleborgs kommun), Ulrika Jönsson Belyazid (Belyazid consulting & communication), Jonatan Malmberg (Ecotopic), Lina Pettersson (Veg tech), Håkan Rosqvist (Sustainable business hub), Bengt Syrén (Bara mineraler), Gunnar Thelin (Ekobalans) och Mirja Ullvig (Trelleborgs kommun).

Refererera till rapporten på följande sätt: Paulsson M, 2020. Sammanfattande slutrapport för projektet Rest till Bäst (steg 2).

INTRODUKTION TILL REST TILL BÄST 1

Vägen till Rest till bäst 2
Tack 3

RÅMATERIAL OCH FÖRBEHANDLING 4

Råmaterial 4
Förbehandling 4
Teknikanpassning och ekonomi 5

TEKNIK FÖR PYROLYS 6

Rökgaser vid pyrolys av olika råmaterial 6
Lärdomar 7

BIOKOLANALYSER 8

Näringsämnen och tungmetaller 8
Organiska föroreningar 8
Vattenhållande förmåga 10
Egenskaper hos biokol tillverkat i fullskala 12

MASSBALANSER OCH ENERGIBALANSER 13

Omvandling av råmaterial till biokol 13
Beräkning av massbalanser 14
Tillförsel av olika ämnen vid användning av biokol 14
Energibalans 14

BIOKOL I GRÖNYTOR 16

Goda resultat med biokol i jorden 16
Biokol i en tillfällig urban äng 16
Gräsytor kan bli urbana ängar 17
Biokol i fotbollsplaner 17

BIOKOL I GRÖNA TAK OCH GRÖNA VÄGGAR 18

Biokol i grön vägg med fickmoduler 18
Biokol i odling av sedummatta 19
Biokol till platsanlagda sedumtak 19
Biokol till gamla sedumtak 20
Vitalitet på gröna tak 20

BIOKOL I TRÄDPLANTERINGAR 21

Varvsparken i Malmö 21
Agnesfridsvägen i Malmö 22
Råby kajpromenad i Lund 22

BIOKOL I BLÅGRÖNGRÅ SYSTEM 23

Mätprogram för reningseffekt 23
Resultat och lärdomar från reningsförsöken 24
Trädförsök med biokol 24

KOLSÄNKEPOTENTIAL HOS BIOKOL PRODUCERAT AV OLIKA RÅMATERIAL 25

Utsläpp vid produktion av biokol 26
Bioagropellets 26
Park- och trädgårdsavfall 26
Slam 27
Alger och tång 27
Biokolets kolsänkepotential 27

BIOKOLETS SAMHÄLLSNYTTA 28

Biokol bidrar till ett bättre klimat 28
Biokol minskar gifterna i samhället 28
Biokol ger livskraftiga odlingssystem 29
Biokol bidrar till att återföra fosfor till jordbruksmarken 29
Biokol ökar den biologiska mångfalden 29
Biokol bidrar till välmående hav 29
Biokol ger nya ekonomiska möjligheter 29

SVENSK CERTIFIERING AV BIOKOL 30

European Biochar Certificate 30
Svenska förutsättningar 30
Behov av svensk certifiering 30
Nära samarbete med EBC 30
Avloppsslam känsligt 31
En svensk bilaga till EBC 31

BIOKOLHANDBOK FÖR ANVÄNDARE 31

INNOVATIONER OCH AFFÄRSUTVECKLING 32

Stor efterfrågan och nya möjligheter 32
Ökad inhemsk produktion krävs 32
Restprodukter blir nyttoprodukter 32
Utsläppsminskning som produkt 33
Nya initiativ och innovationer 33
Utbildning av projektdeltagare 34
Jämställd affärs- och projektutveckling 34

NÄSTA STEG 35

Öka kunskapen hos målgrupperna 35
Hitta rätt biokol för rätt plats 35
Identifiera relevanta gränsvärden 35
Hantera tekniska utmaningar 35
Identifiera nya användningsområden 35
Kompensera för nuvarande och historiska utsläpp 36

Introduktion till Rest till Bäst

Författare: Markus Paulsson

Rest till Bäst är ett projekt som spänner över biokolets hela värde-kedja, från restprodukter via produktion och distribution till användning, livscykelanalyser, certifiering och rekommendationer. För att nå våra mål har vi samarbetat mellan olika organisationer och discipliner. Resultaten efter drygt två års arbete sammanfattas i denna rapport.

Biokol har fått allt mer uppmärksamhet de senaste åren. Det är förståeligt då det har flera positiva och användbara egenskaper. Dessutom fungerar biokol som en kolsänka. Det är ett positivt bidrag till en av vår tids viktigaste frågor, nämligen att hejda en eskalerande växthuseffekt. Om råvaran till biokolet dessutom kommer från en restprodukt får man dubbel nytta.

I projektet har vi använt oss av fyra restprodukter (alger/tång, frörens, park- och trädgårdsavfall samt slam) för att göra biokol. Det har visat sig att förbehandlingen av råmaterialen ofta är svårare än produktionen av biokol. Sand, grus och sten kan vara besvärligt att separera från organiskt material. Trots det har vi lyckats få fram biokol från alla fyra restprodukterna – biokol som vi sedan analyserat, testat och karaktäriserat på delvis helt nya sätt.

Vi har lärt oss att biokol inte är en produkt utan många. Dess egenskaper skiljer sig åt beroende på vilket råmaterial som har använts, hur råmaterialet har förbehandlats och hur tillverkningsprocessen har sett ut. Det är därför viktigt att beskriva varje biokols egenskaper, så att användaren kan välja rätt biokol och få avsedd effekt.

Kadmium är en tungmetall som är skadlig för oss. Trots det förekommer den i vår mat. För att förhindra att halterna ökar finns det gränsvärden för slam från avloppsreningsverk som ska spridas på åkermark. Det innebär att en hel del slam idag inte sprids, vilket i sin tur resulterar i att stora mängder fosfor (ett livsviktigt gödningsämne) inte återförs till lantbruket. Inom projektet har vi testat en metod att separera kadmium från biokol producerat av slam, i syfte att kunna få fram ett biokol med högt innehåll av fosfor och låg halt av kadmium. Separationen börjar vid 700°C och vid 800°C kan man få bort mer än 90% av kadmiumet. Därför har vi tillverkat biokol vid flera olika temperaturer. Temperaturen påverkar dock även andra egenskaper hos biokolet, vilka också har undersökts.

Biokolet har inte bara undersökts tekniskt på laboratorium utan det har även använts i flera olika växtodlingsförsök. Två framträdande egenskaper hos biokol är dess vatten- och näringshållande förmåga. Det gör det lämpligt att blanda i jordar för att förbättra rotmiljön för växterna. Biokol har använts för att förbättra förhållandena för växtligheten i allt från sedummattor på gröna tak till fotbollsplaner, trädplanteringar och regnbäddar. Vi har bland annat tittat på hur olika mängd biokol påverkar växters tillväxt och testat om biokol kan påverka växters artsammansättning. Dessutom har en del försök som anlagts tidigare följts upp.

Inom ramen för Rest till Bäst har även en handbok om biokol tagits fram: *Biokolhandboken – för användare*. Tanken är att handboken ska vara en vägledning för alla som vill använda biokol i olika typer av urbana miljöer. Ambitionen är att den lever kvar och uppdateras löpande även efter att Rest till Bäst har avslutats. Handboken finns att hämta på projektets hemsida: www.biokol.org.

Ett svenskt tillägg till den Europeiska biokolcertifieringen EBC har också tagits fram, med syfte att harmonisera certifieringen med svenska lagar och krav.

För att säkerställa klimatnyttan med biokol baserat på restprodukter har livscykelanalyser genomförts för de restprodukter som använts inom projektet – en per restprodukt. De visar på tydlig klimatnytta för alla fyra, även om kolsänkepotentialen varierar lite.



De restprodukter som har använts inom projektet och applikationer där tillförsel av biokol har testats och utvärderats.

Biokol är en gammal företeelse, men det är en ny och ganska omogen marknad. Det ser många som en affärsmöjlighet, men hur tar man tillvara på den möjligheten på bästa sätt? Det har projektets medlemmar undersökt tillsammans. I en internationell jämförelse så har Sverige en större och bredare marknad än många andra europeiska länder. Tillverkningen i Sverige är dock mindre än efterfrågan.

Vägen till Rest till bäst

Det finns en ganska lång förhistoria till projektet och varje partner har en egen berättelse. De konkreta tankarna kring att göra ett gemensamt projekt startade hösten 2016 då en grupp som funderade på att göra biokol av olika restprodukter träffade en annan grupp som använde biokol i olika tillämpningar. Det ledde fram till en gemensam projektansökan i januari 2017 inom Vinnovas UDI-program. Ansökan beviljades och en förstudie (”steg 1”) genomfördes mellan maj 2017 och januari 2018.

I januari 2018 skickades en ny ansökan till Vinnova för att genomföra ett samverkansprojekt (”steg 2”). Samtidigt bytte projektet namn till ”Rest till bäst – Biokol som lösning och produkt i det cirkulära och livskraftiga samhället”. En titel som syftar på att omvandla restprodukter till den bästa produkten, nämligen biokol, för att uppnå ett cirkulärt och hållbart samhälle. Ansökan beviljades och projektet startade i maj 2018.

Under projekttiden har vi stött på många problem, men vi har kommit på lika många lösningar. Att lösa problem är en stor källa till kunskap, så vi har lärt oss mycket. En annan sak som hänt under projekttiden är ett kraftigt ökande intresse för biokol. Ett ökande odlingsintresse i samhället kan vara en orsak, att biokol är en relativt enkel och prisvärd metod att minska koldioxidhalten i atmosfären en annan.

December 2020 tar projektet slut. Vi hoppas dock kunna genomföra ett tredje steg. Projektgruppen har breddats ytterligare och det finns många fler frågor att undersöka, tester att skala upp och affärsmodeller att ta fram. Dessutom behöver många fler råd förmedlas om hur man tillverkar, köper och använder biokol så att rätt biokol hamnar på rätt plats.

Tack

Som projektledare vill jag rikta ett stort tack till alla projektmedlemmar. Utan ert driv, nyfikenhet, experimentlusta och generositet hade projektet inte kommit så långt som det faktiskt har gjort. Dessutom hade det inte varit lika roligt! Jag ser fram emot att få fortsätta resan tillsammans med er.

































Park- och trädgårdsavfall från Lund krossas inför siktning.

Råmaterial och förbehandling

Författare: Gunnar Thelin, Markus Paulsson och Sven-Olof Bernhoff

Det går att göra biokol av i princip allt som har en tillräckligt hög organisk halt. De stora skillnaderna i egenskaper mellan olika råvaror resulterar dock i vitt skilda krav på vilken typ av förbehandling som krävs för att få till en väl fungerande pyrolysprocess.

Vad som är en tillräckligt hög organisk halt är inte särskilt väl definierat. En gräns kan vara en viss kolhalt i det resulterande biokolet, en annan att den organiska halten och därmed energiinnehållet i råmaterialet är tillräckligt högt för att driva pyrolysprocessen utan extern energitillförsel.

Råmaterial

Inom Rest till Bäst har vi arbetat med fyra olika typer av restflöden som råvara för att producera biokol: bioagropellets, slam, alger och tång samt park- och trädgårdsavfall.

Bioagropelletsen utgörs av pelleterade frö- och skalrester från Skånefrös frörenserier. Det är den huvudsakliga råvaran för produktion av biokol och fjärrvärme i deras pyrolysanläggningar.

Slammet kom från Lunds avloppsreningsverk. Det är ett genomsnittligt slam för svenska reningsverk med en torrsubstanshalt på drygt 22% och ett innehåll av organiskt material på cirka 64% av torrsubstansen. Slammet sprids normalt på åkermark och lagrades därför (av hygieniserings-skäl) på platta i sex månader innan det användes i pyrolysförsöken.

Park- och trädgårdsavfallet är också från Lunds kommun. I Lund sorteras parkavfallet i en kompost- och en risfraktion redan ute i parken. För produktionen av biokol i projektet användes endast material från risfraktionen.

Tången är insamlad i Trelleborgs kommun. Initialt var planen att använda strandinsamlad tång. Provtagningar visade dock att sådan tång innehåller alltför mycket sand. Därför användes tång från ansamlingar i vattenbrynet intill hamnområdet i Trelleborg.

Förbehandling

Förbehandling innebär att olika råmaterial behandlas så att de fungerar i pyrolysprocessen och ger ett användbart biokol. Beroende på material kan förbehandlingen bestå av allt från torkning till sönderdelning och avskiljning av oorganiskt material. Kraven på det material som ska matas in pyrolysugnen, och därmed kraven på förbehandling, varierar mellan olika pyrolysanläggningar. Skånefrös anläggning från Pyreg, som användes för försök i projektet, har följande krav på ingående material: minst 70% torrsubstans, max partikelstorlek på 16 mm för 85% av råmaterialet och minimal förekomst av mineralfraktioner > 2 mm (grus och sten).

I avvattnat slam saknas större mineralfraktioner, men den höga vattenhalten kräver en omfattande torkning. Det är eftersträvansvärt att nå så hög





Två av de råmaterial som har använts inom projektet. Till vänster slam från Lunds reningsverk och till höger park- och trädgårdsavfall från Lund.

torrsubstanshalt som möjligt i mekanisk avvattning före torkning eftersom det är mindre energikrävande än torkning. Effektiv teknik för torkning av slam och liknande material har utvecklats under de senaste 20 åren, men eftersom den pilottork som fanns tillgänglig hade alltför låg kapacitet för att producera tillräcklig mängd torkat slam för att utföra försök i Skånefrös anläggning förtorkades slammet med hjälpen av solen. Efter torkning maldes det till lämplig kornstorlek.

Park- och trädgårdsavfallet från Lund hade legat i hög i cirka en månad när det krossades med en CBI Magnum Force 6400 och sedan siktades med en Doppstadt 620 med en 15 mm trumsikt. För att säkerställa rätt storleksfördelning på materialet siktades det två gånger. Sedan packades det i storsäck och transporterades till Skånefrös pyrolysanläggning i Hammenhög. Där framgick att ytterligare torkning behövdes, vilket skedde med en enkel batchtork-lösning. När pyrolysförsöket påbörjades visade det sig att materialet innehöll för mycket småsten. Stenen avskildes med hjälp av ett frösorteringsbord.

Den uppsamlade tången hade en torrsubstanshalt på 10% när den tippades på asfaltsyta vid pyrolys-anläggningen för att soltorkas. Före torkning uppfattades tången som fri från mineralogiskt material. Men efter torkning upptäcktes att den innehöll en förvånansvärt hög andel småsten. Stenen sorterades ut manuellt. Därefter maldes tången i en kompostkvarn för att säkerställa att inmatningen till pyrolysugnen skulle fungera.

Försök med tvättning av strandinsamlad tång visade att det skulle vara möjligt att få fram en fraktion med tillräckligt låg sandhalt för att kunna användas vid pyrolys. Men eftersom tången delvis hunnit brytas ned uppkommer ett rejektflöde med en hög halt löst organiskt material. Med nuvarande regelverk måste detta rejektflöde renas innan det kan återföras till havet.

Teknikanpassning och ekonomi

Arbetet med att ta fram fraktioner av restflödena som kunde fungera i Pyreg-anläggningen visade sig bli omfattande, särskilt för park- och trädgårdsavfall och alger och tång. Det är svårt att se hur effektiva industriella processer ska kunna utformas och rimlig lönsamhet ska kunna uppnås för dessa material med de krav på inmatat material som anläggningstypen har. Det är troligt att kostnaden kommer att anses vara alltför hög jämfört med kostnader för nuvarande hantering, även om fördelar i form av klimatnytta och biokol för odling räknas in. För den här typen av råmaterial är det därför relevant att testa andra pyrolystekniker, som är mindre känsliga för föroreningar i form av till exempel småsten. För slam däremot finns färdiga tekniklösningar för torkning och malning som levererar ett material som fungerar väl i hanteringen. Utmaningen för slam är istället att säkerställa att tillräckligt mycket kadmium kan avskiljas under pyrolysprocessen.

En lärdom från Rest till Bäst är att det första steget vid utvärdering av huruvida ett visst råmaterial kan användas för pyrolys bör vara analyser och karaktärisering av materialet. Baserat på detta kan man sedan utvärdera om det alls går att producera ett användbart biokol till rimlig kostnad, jämfört med användning i andra lösningar.



Tång och alger från Trelleborgs kommun soltorkas hos Skånefrö AB i Hammenhög.


Pyrolysanläggning hos Skånefrö i Hammenhög.

Teknik för pyrolys

Författare: Sven-Olof Bernhoff, Kent Davidsson och Gunnar Thelin

Försök med pyrolys av bioagropellets, slam, park- och trädgårdsavfall samt tång gjordes i en av Skånefrös pyrolys-anläggningar. Resultaten visar att det är möjligt att producera biokol från dessa material och att rökgaserna från anläggningen sällan överskrider utsläppskraven.

Marknaden för pyrolysanläggningar är varken väletablerad eller stor. I Sverige finns ett fåtal anläggningar och de flesta av dem är tillverkade av PYREG GmbH eller Biomacon GmbH. Skånefrö AB äger två pyrolysanläggningar av märket PYREG (medfinansierade via Klimatklivet). Den ena av dessa, PYREG P500, har använts som plattform för Rest till Bäst:s pyrolysförsök. PYREG P500 är avsedd för pyrolys av organiskt material. Råvaran matas in i en ficka, varefter skruvar i botten för råvaran vidare ner till pyrolysreaktorn. I denna skruvas sedan råvaran framåt under det att temperaturen på 550-700°C omvandlar den till biokol. Den gas som frigörs under pyrolysen passerar ett keramiskt varmfilter, som avlägsnar partiklar, och förbränns därefter varvid värme frigörs. Värmen används sedan för att driva pyrolysreaktorn. Kvarvarande värme i rökgaserna växlas mot exempelvis ett fjärrvärmenät varefter de passerar en skrubber och ett filter innan de går ut genom skorstenen. Innan biokolet matas ut kyls och sprayas det med vatten för att släcka förbränningsreaktioner som annars kunde ta fart när biokolet kommer i kontakt med luft.

Rökgaser vid pyrolys av olika råmaterial

Pyrolysförsök med råmaterialen bioagropellets, avloppsslam, park- och trädgårdsavfall samt tång genomfördes. Rökgasernas sammansättning (CO, CO_2, NO_x och O_2) mättes och stoft och biokol provtogs. Provpunkterna (A-C, se tabell 1), där rökgas sögs ut, har varierat något mellan försöken. Orsaken var att endast en provpunkt (C) gav mätbara halter stoft, vilket inte var känt i inledningen av försöken. Mätningar och provtagningar har skett när anläggningen har gått stabilt.

Rökgasernas sammansättning framgår av tabell 1. Rökgasernas innehåll av stoft när ett keramiskt varmfilter var inkopplat (A och B i tabell 1) kan betraktas som noll eftersom den uppmätta stoftmängden är nära detektionsgränsen. Det innebär att det varma filtret, som rensar partiklar från pyrolysgaserna, är effektivt och att den efterföljande förbränningen är god. Rökgaserna underskrider oftast utsläppsgränserna enligt ekodesignkraven för fastbränslepannor >20 kW. Motsvarande mätningar utan keramiskt varmfilter visar att stoft bildas.



Skånefrös pyrolysanläggning i Hammenhög i Skåne. Till vänster syns Pyreg P500 och till höger Pyreg P1500. Kent Davidsson, RISE, föreläser för studenter från Lund.

Lärdomar

I alla utvecklingsprojekt brottas man med okända faktorer, men även kända faktorer kan visa sig vara mer problematiska än tänkt. En av de tydligaste lärdomarna här är att teknik för både förbehandling och pyrolys måste anpassas efter råmaterialet.

När man överväger om ett visst material är lämpligt för pyrolys måste man utöver innehåll av organiskt material ta hänsyn till: 1) om materialet innehåller föroreningar som försvårar eller omöjliggör tänkt användning och som inte kan avlägsnas i pyrolysprocessen, 2) om materialet innehåller för mycket minerogent material för pyrolys, 3) om materialet behöver sönderdelas och/eller torkas, vad som isåfall är lämpliga tekniker för detta och om de finns tillgängliga till en rimlig kostnad.

En annan viktig lärdom är att det är svårt att utföra vetenskapliga försök i kommersiella anläggningar. Det går till exempel inte att reglera temperaturen i en pyrolysanläggning där temperaturen styrs av energiflödet från gasbrännaren, vilket i sin tur styrs av pyrolysgasflödet från pyrolysugnen. Ett energifattigt råmaterial ger helt enkelt för lite energi per tidsenhet för att kunna köra pyrolysprocessen vid den temperatur som man hade tänkt. Försök i kommersiella anläggningar kräver dessutom stora mängder råmaterial för att först kunna göra relevanta anpassningar av driftsparametrar efter materialet ifråga, och därefter kunna köra tillräckligt länge med stabil drift för att få ut relevanta data på sådant som energiomvandling och rökgassammansättning, samt få fram biokol för analys.

Testanläggningar där temperaturen kan styras med ett externt energiflöde och rökgassammansättningen kan mätas vid olika driftfall behövs därför. Testanläggningen måste vara tillräckligt stor för att kunna köras stabilt i många timmar, om det ska vara möjligt att få fram tillförlitliga data på till exempel rökgaser.

Tabell 1. Genomsnittlig rökgassammansättning vid försök med olika råmaterial. Halter är normerade till 10% O_2. Provpunkterna är: A=nedströms skrubber och filter med keramiskt varmfilter, B=uppströms skrubber och filter med keramiskt varmfilter och C=uppströms skrubber och filter utan keramiskt varmfilter.

	Provpunkt	**Stoft**	**NO_x**	**CO**	**CO_2**	**O_2**
Råvaror		mg/Nm^3	mg/Nm^3	mg/Nm^3	%	%
bioagropellets	A	4	140	8	18	2,4
bioagropellets (med 25% säd)	B	3	130	0	15	5,4
slam	B	-	190	420	9	10,0
park- och trädgårdsavfall	B	2	170	2	12	7,6
tång	C	120	230	2500	11	7,1
ekodesignkrav fastbränslepannor		40	200	500		

Biokolanalyser

Författare: Gunnar Thelin, Ann-Mari Fransson och Bengt Syrén

Analyser av råmaterial och biokol visar på goda möjligheter att producera biokol med låga föroreningshalter från flera av de råmaterial som använts inom Rest till Bäst. Biokolens egenskaper och användbarhet varierar dock, beroende på både råmaterial och pyrolystemperatur.

Pyrolysförsök har utförts med råmaterialen bioagropellets, avloppsslam, park- och trädgårdsavfall samt tång i labbskala i Pyregs testanläggning Pyreka i Tyskland och i fullskala i Skånefrös anläggning Pyreg P500 i Hammenhög.

Labbförsöken utfördes vid sex olika temperaturer från 400 till 900°C. Labbanläggningen värms med el, vilket möjliggör noggrann temperaturreglering. Råmaterial och biokol analyserades med avseende på innehåll av kol, makro- och mikronäringsämnen samt tungmetaller

I fullskaleförsöken var pyrolystemperaturen cirka 650°C. I en fullskalig anläggning där pyrolysprocessen drivs med värme från förbränning av pyrolysgaserna är noggrann temperaturkontroll under kortare försök inte möjligt. Men försök i fullskala är nödvändiga för att få en uppfattning om materialegenskaper och tekniska begränsningar vid pyrolys. I fullskaleförsöken analyserades de organiska föroreningarna PAH, PCB och dioxiner/furaner.

Näringsämnen och tungmetaller

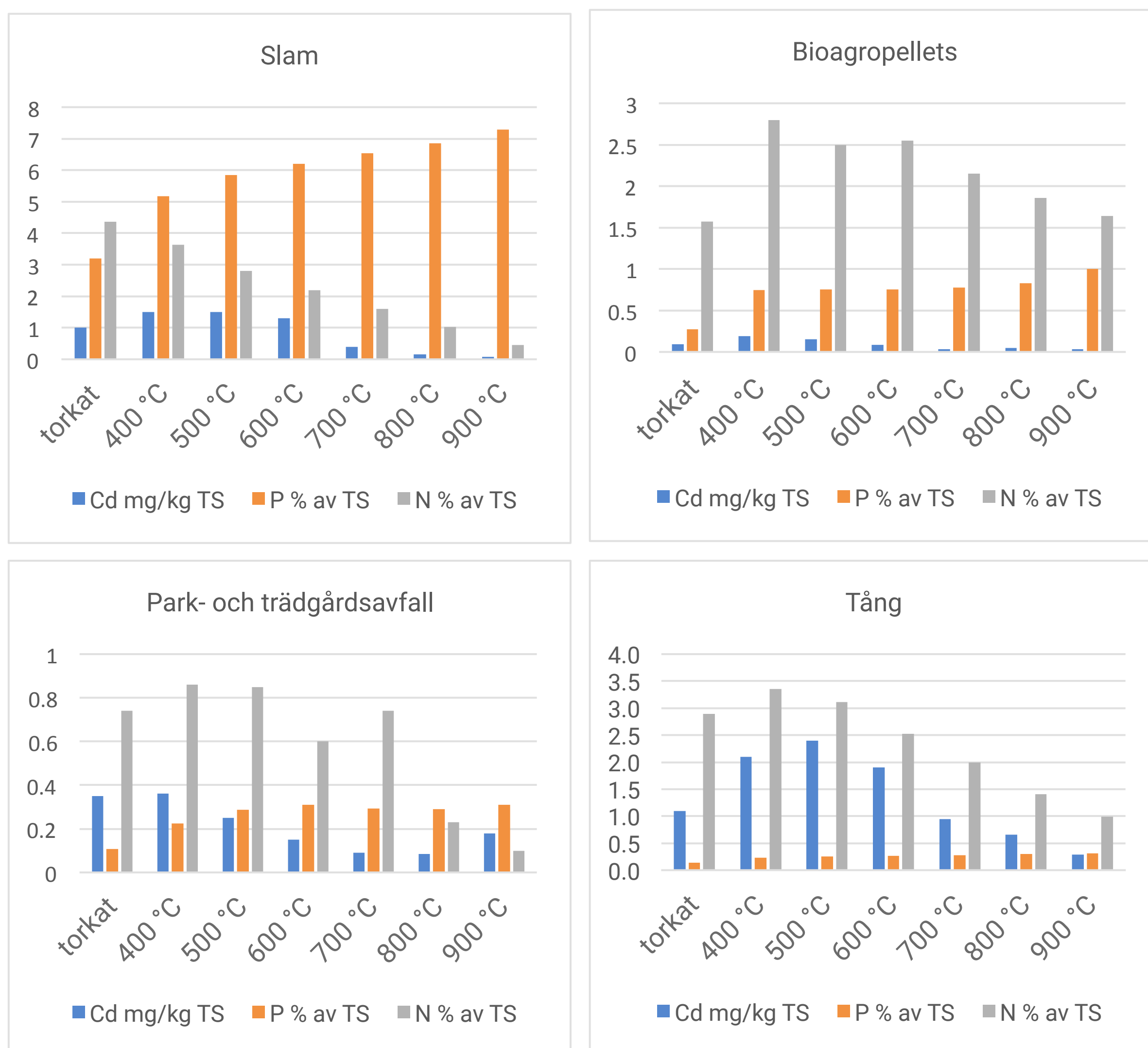
Innehållet av olika ämnen i biokol beror huvudsakligen på vilket råmaterial som använts och pyrolystemperaturen. Eftersom avgången av organiskt material som pyrolysgas ökar med ökande pyrolystemperatur koncentreras en del ämnen i biokolet. Andra ämnen, såsom kväve, svavel och kvicksilver, avgår i stor utsträckning vid låg pyrolystemperatur vilket resulterar i låga halter i biokolet jämfört med råmaterialet. Detsamma gäller för kadmium, men vid högre pyrolystemperaturer (figur 1).

För att producera biokol, som kan användas utan risk, av relativt kadmiumrika råmaterial (såsom slam och tång) krävs pyrolystemperaturer på minst 700°C. Övriga tungmetaller (krom, nickel, bly, zink och koppar) påverkas i mindre grad av pyrolysprocessen, men de föreligger också mer sällan i halter på risknivå. Vid en jämförelse med EBC:s gränsvärden för kategorin EBC-AgroBio hade biokol producerat av bioagropellets, park- och trädgårdsavfall och tång bara enstaka överskridanden för nickel. Tångbiokol producerat under 800 grader hade överskridande för kadmium. Samtliga slambiokol hade för höga halter av koppar, nickel, bly och zink. Det spelar dock inte så stor roll för slambiokol eftersom dosen begränsas av fosformängden (läs mer i avsnittet om massbalanser). Det är också viktigt att näringsämnen såsom fosfor blir kvar i biokolet. I pyrolysförsöken avgick lite eller ingen fosfor. Detsamma gäller övriga makro- och mikronäringsämnen. Kväve stannade kvar i biokolet i oväntat hög grad i flera av försöken.

Organiska föroreningar

Organiska föroreningar som skulle kunna vara problematiska i biokol är dels sådana som kan bildas under pyrolysprocessen, som PAH:er och dioxiner, dels ämnen som har hög temperaturbeständighet, såsom vissa PCB:er. Analyserna tyder på låga risker avseende dessa ämnen (tabell 2). Det finns idag inga gränsvärden för dessa ämnen i biokol, därför har halterna jämförts med Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark vid känslig markanvändning.

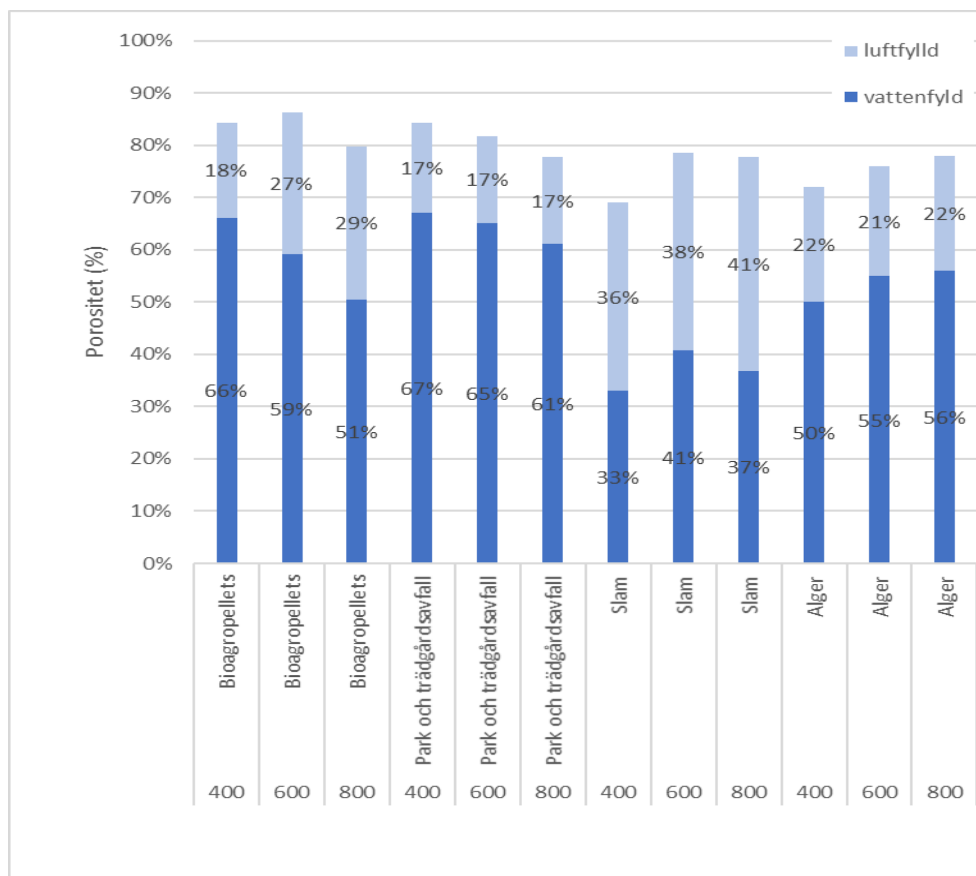
Noterbart är att uppmätta halter av dioxiner och PCB:er var betydligt lägre i det resulterande biokolet än i råmaterialen.



Figur 1. Innehåll av kadmium (Cd), fosfor (P) och kväve (N) i råmaterial ("torkat" i figurerna) och biokol av slam, bioagropellets, park- och trädgårdsavfall samt tång i labbförsök vid olika pyrolystemperaturer.

Tabell 2. Organiska föroreningar i råmaterial och biokol producerat i en fullskaleanläggning. Dioxiner = summa toxiska ekvivalenter av uppmätta dioxiner, furaner och dioxinliknande PCB:er. PCB7=summan av sju kongener av PCB:er. PAH-L, M, H=PAHer med låg, medelhög respektive hög molekylvikt. Riktvärde=Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark vid känslig markanvändning.

	Dioxiner	**PCB7**	**PAH-L**	**PAH-M**	**PAH-H**
	ng/kg	µg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Slam	5,1	38,8	<1	1,3	<1
Slambiokol	1,2	0,9	0,4	0,3	<0,1
Park- och trädgårdsavfall	4,7	6,2	<0,1	0,2	0,2
Park- och trädgårdsavfallbiokol	1,0	0,7	0,7	0,5	0,1
Tång	4,1	1,5	<0,1	<0,1	<0,1
Tångbiokol	1,0	0,5	0,9	1,0	<0,1
Bioagropellets	2,7	1,6	<0,1	<0,1	<0,1
Bioagropelletsbiokol	1,1	0,7	1,8	0,8	<0,1
Riktvärde	20	8	3	3,5	1



Figur 2. Porositet hos biokol tillverkat av bioagropellets, park- och trädgårdsavfall, slam samt alger och tång och producerat vid olika temperaturer (400, 600 och 800°C).

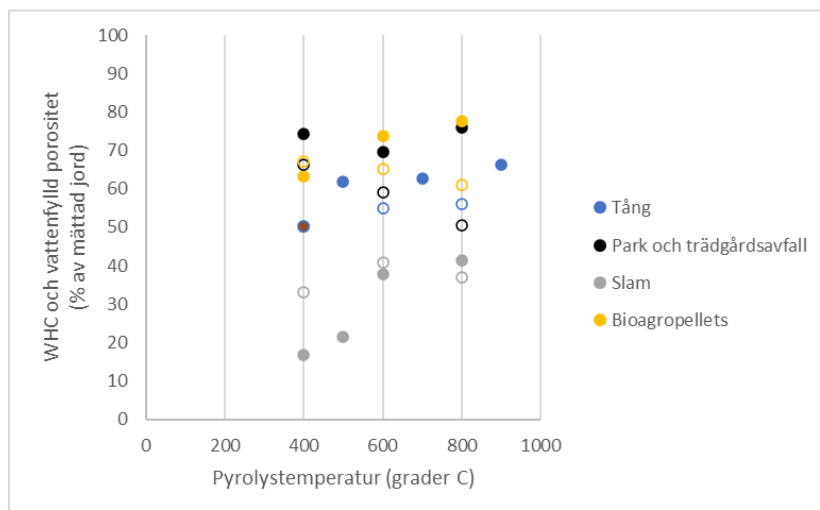
Vattenhållande förmåga

Vi har mätt växttillgängligt vatten i biokol producerat i labbförsök på två olika sätt: 1) biokolet mättas genom att det sänks ner i vatten (porositet) och 2) biokolet får suga upp vatten underifrån (vattenhållande kapacitet, WHC). Dessutom har vi mätt stighöjden genom att ställa biokolet i ett vattenbad och mäta hur högt upp vattnet transporteras.

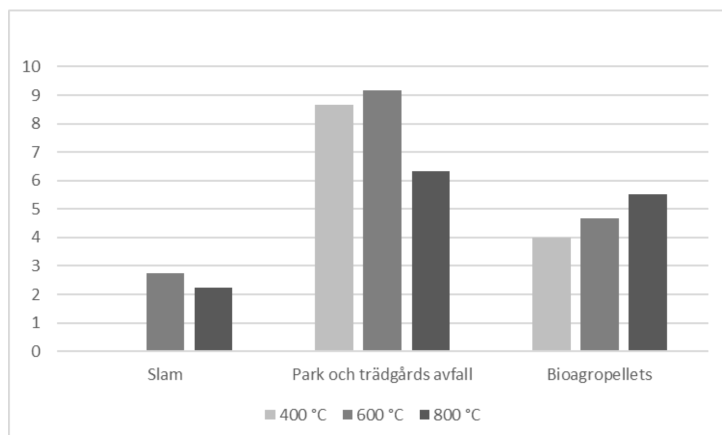
Generellt utgörs mellan 60 och 80 viktsprocent av vattenmättat biokol av växttillgängligt vatten (figur 2 och 3). Undantaget utgörs av pyrolyserat slam, som har en betydligt lägre vattenhållande förmåga (mellan 15 och 40 viktsprocent beroende på pyrolystemperaturen). Detta beror troligen på att pyrolyserat slam har fler makroporer (luftfyllda porer) än biokol producerat av övriga råmaterial. Detta tyder på en hög dränerande förmåga hos pyrolyserat slam.

Mängden växttillgängligt vatten skiljer sig åt beroende på vilken av de två metoderna som används. Skillnaderna mellan metoderna förstärks i vissa fall när pyrolystemperaturen ökar (park- och trädgårdsavfall och bioagropellets), och minskar i andra (slam). Även den kapillära stighöjden varierar med pyrolystemperaturen (figur 4). Inte heller här finns någon tydlig trend. För slam och park- och trädgårdsavfall verkar den minska något vid den högsta pyrolystemperaturen och för bioagropellets och tång ökar den.

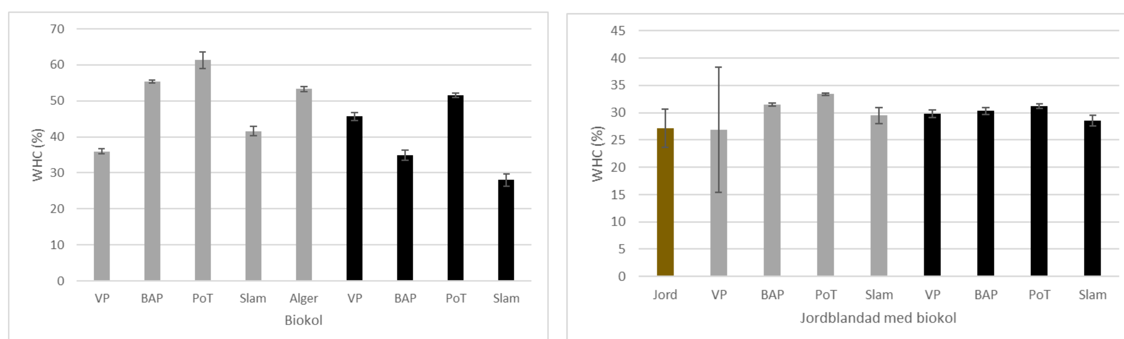
Skillnaderna beror troligen på att när biokolet suger upp vatten underifrån har kapillärkraften stor betydelse. När biokolet istället blir nedsänkt för att bli vattenmättat kommer en del av biokolets hydrofobicitet att överkommas, vilket inte sker i samma omfattning när det suger upp vatten underifrån. Fler försök behövs för att se vilken av metoderna som ger en mer representativ bild av växttillgängligt vatten.



Figur 3. WHC (fyllda cirklar) och vattenfylld porositet (ofyllda cirklar) som procentandel av vattenmättat biokol, producerat vid pyrolystemperaturer mellan 400 och 900 grader för olika råmaterial i labbförsök.



Figur 4. Stighöjd hos biokol tillverkat av slam, park- och trädgårdsavfall och bioagropellets vid tre olika temperaturer.



Figur 5. WHC som procentandel av vattenmättat biokol av två olika fraktioner – en fraktion som kommer direkt från produktionen (grå staplar) och en fraktion som borstats genom ett 2-mm såll (svarta staplar). VP=vedpellets, BAP=bioagropellets, PoT=park- och trädgårdsavfall. För alger och tång finns inga mätningar i jord.

Egenskaper hos biokol tillverkat i fullskala

Ett fullskaleförsök med råmaterialen samt Rest till Bäst:s projektpartner Veg Tech:s vedpelletsbiokol genomfördes i Skånefrös pyrolysanläggning i Hammenhög. Alla råmaterial pyrolyserades där med en måltemperatur på 650°C. De resulterande biokolen analyserades med avseende på en rad olika egenskaper (tabell 3). I tabellen har vi även inkluderat referensvärden som tagits fram i vår handbok om biokol (kan laddas ned från www.biokol.org). Alla biokol ser mycket stabila ut och fungerar med stor sannolikhet som kolsänkor. Värt att notera i övrigt är att tångbiokol innehåller mycket salt och att tång- och slambiokol innehåller mycket aska, troligen från sand och sediment som kommit med råmaterialet in i pyrolysugnen.

Biokolens vattenhållande förmåga bestämdes genom att materialen fick suga upp vatten underifrån i 24 timmar (tabell 3). Porositeten bestämdes också men resultaten är ännu inte klara. För att undersöka hur fraktionsstorleken påverkar biokolens vattenhållande förmåga finfördelades de med borstning genom ett 2-mm såll. Resultaten visar att fraktionsstorleken ser ut att påverka hur stor vattenhållande kapacitet biokolet har (figur 5). Den vattenhållande förmågan är mellan 10 och 20 viktsprocent lägre när biokolet borstats genom ett såll. Undantaget utgörs av vedbiokolet från Veg Tech. Det har istället cirka 10 viktsprocent högre vattenhållande förmåga när enbart den finare fraktionen användes.

Att resultaten skiljer sig kan bero på att borstningen av biokolet genom sållet påverkat biokolpartiklarna. Biokol som bestod av mer fasta partiklar maldes troligen sönder och biokol som var porösare blev troligen sönderslaget. I det första fallet, där biokolet mals, består den finare fraktionen med stor sannolikhet av det yttersta lagret på biokolpartiklarna. I det andra fallet, där biokolet slås sönder, kommer fler ytor som varit gömda inuti biokolpartiklarna fram, ytor som inte påverkats på samma sätt av pyrolysprocessen. Fler försök behövs för att klargöra betydelsen av partikelstorleken för biokols vattenhållande förmåga. Att de finare materialen har en högre stighöjd än de grövre är förväntat, eftersom kapillärkraften är högre då materialen är mer finfördelade.

Tabell 3. Biokolanalyser för fem olika biokol producerade av olika råmaterial i fullskaleförsök i Skånefrös pyrolysanläggning och ett medeltal presenterat i Biokolhandboken (finns att ladda ned från www.biokol.org).

Egenskaper	**Medel enligt handboken**	**Vedpellets**	**Bioagropellets**	**Park- och trädgårdsavfall**	**Alger och tång**	**Slam**
pH ($CaCl_2$)	9,1 (H2O)	8,9	8,6	9,0	8,5	7,5
Vattenhållande förmåga (%)	146	106		173	51	
H/C	0,15	0,16	0,48	0,27	0,43	0,54
H/C_{org}	0,15	0,16	0,48	0,27	0,43	0,54
O/C	0,04	0,017	0,091	0,065	0,1	0,089
Askhalt 550 (%)	11	2,6	24	29	51	59
Kolinnehåll (%)	85	93	65	66	41	58
Ledningstal (µS/cm)	1800	275	1930	2050	10000	556
Bulkdensitet (kg/m^3)	290	553	376	300		
Fukthalt (%)	24,0	8,1	45,1	19,9	8,8	11,7
Salthalt (g/kg)	6,6	1,6	9,3	20,8	53,0	2,9
Total halt 16 EPA-PAH excl. LOQ	3,1	0,8	3,4	4,4	1,9	1,5
BET yta (m^2/g)	246	340	7,7	263	50,7	30,6
Gross calorific value				23600	14700	12800
Net calorific value				23200	14400	12500



Massbalanser och energibalanser

Författare: Gunnar Thelin och Kent Davidsson

Massbalansberäkningar visar att olika ämnen påverkas väldigt olika av pyrolystemperaturen. Vissa ämnen drivs av effektivt medan andra anrikas i biokolet. Energibalanser kunde tyvärr inte tas fram för våra försök, men en metod för att upprätta energibalanser för pyrolysanläggningar presenteras.

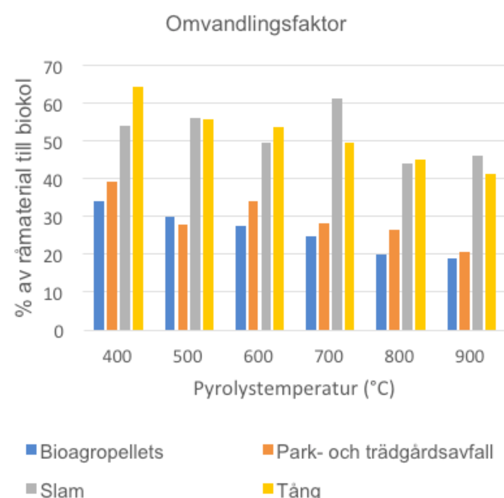
Baserat på analyser av råmaterial och biokol (se föregående avsnitt; Biokolanalyser) samt data på hur stor andel av råmaterialet som fanns kvar som biokol vid olika temperaturer (i labbförsök) kunde massbalanser för olika ämnen beräknas.

Omvandling av råmaterial till biokol

I labbförsöken mättes mängd råmaterial som matades in i pyrolysugnen och resulterande mängd biokol som erhölls vid olika temperaturer, och andelen biokol baserat på mängden råmaterial beräknades (figur 6). En mer fullständig massbalans kan göras genom att också mäta flödesmängd och innehåll i utgående flöden från förbränningen i form av rökgaser och gasförbränningsaska.

För samtliga material minskar andelen biokol med stigande pyrolystemperatur, vilket omvänt betyder att större andel av råmaterialet har avgått som pyrolysgaser vid högre temperaturer. Det är dock tydliga skillnader mellan slam och tång jämfört med bioagropellets och park- och trädgårdsavfall, oavsett temperatur.

En betydligt högre procentandel av råmaterialet blir biokol för slam och tång. Det beror på att dessa råmaterial har betydligt högre askhalt än bioagropellets och park- och trädgårdsavfall. Det mesta av de askbildande ämnena avgår inte i pyrolysprocessen.



Figur 6. Andel biokol i procent av inmatad mängd råmaterial efter pyrolys vid olika temperaturer.

Beräkning av massbalanser

Massbalanser för olika ämnen beräknades med hjälp av följande ekvation: hur stor andel av ett ämne som blir kvar i biokolet = koncentration i biokolet * omvandlingsfaktor/koncentration i råmaterialet.

Resultaten för några representativa ämnen för slam respektive bioagropellets presenteras i tabell 4. Tång hade resultat liknande slammets och park- och trädgårdsavfallet liknande bioagropelletsen.

Värden nära eller över 100 % indikerar ingen avgång. Siffror över 100 % beror på mätosäkerhet. Ämnena kan grovt delas in i tre grupper med avseende på hur mycket av dem som avgår med pyrolysgaserna vid högre temperaturer. De ämnen som till stor del avgick med rökgaserna var kol, kväve, svavel, kvicksilver och kadmium. Ämnen som hade en liten avgång var fosfor och andra näringsämnen (förutom kväve och svavel) samt krom, nickel och koppar. Ämnen med medelstor avgång inkluderade bly, arsenik och zink.

Avgången av fosfor och krom var oväntat stor för bioagropellets. Det skulle kunna bero på att en större andel partiklar, som tar med sig fosfor och krom (med flera ämnen), följer med rökgaserna vid pyrolys av bioagropellets jämfört med slam.

Tillförsel av olika ämnen vid användning av biokol

Hur mycket av ett näringsämne eller tungmetall som tillförs marken med biokol i olika applikationer, det vill säga dosen per tids- och ytenhet, beskrivs genom: givan i form av massa tillfört biokol per hektar och år * koncentrationen av ämnet i biokolet.

Det är dosen som är avgörande för om man får en ackumulation av ämnen i åkermark, och därmed ökad risk för negativa miljö- och hälsoeffekter. I certifieringssystemet SPCR120 för spridning av rötrester från biogasproduktion används sådana dosberäkningar för att avgöra maximal giva av en viss rötrest. Motsvarande beräkningar gjordes för biokol från labbförsöken. Det ämne som begränsar givan skiljer sig mellan olika biokol. För slambiokol är fosforinnehållet begränsande. Maximal fosfordos är 22 kg fosfor per hektar och år vilket ger en maximal giva på 0,3-0,4 ton slambiokol per hektar och år (beroende på pyrolystemperatur). Maximal giva av biokol producerat av park- och trädgårds-avfall är cirka 1 ton per hektar och år. Den givan begränsas av krom och/eller nickel. Maximal giva av tångbiokol är 0,3-0,8 ton per hektar och år. Den givan begränsas vid låga pyrolystemperaturer framförallt av kadmium, och annars av nickel. Maximal giva av biokol producerat av bioagropellets varierar mellan 1 och 5 ton per hektar och år. Givan begränsas av fosfor, kadmium eller nickel.

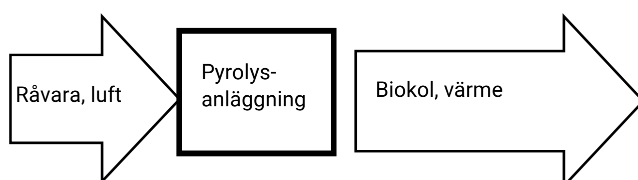
Energibalans

Energiflödesmätningar kunde inte utföras i labbförsöken, och i fullskaleförsöken var osäkerheterna i flödesberäkningarna för stora för att kunna ta fram relevanta energibalanser. Det hade krävts betydligt större mängder provmaterial och längre försökstider för enskilda material än vad som var möjligt i fullskaleförsöken. Här presenterar vi dock en teoretisk genomgång av hur energibalanser för pyrolysanläggningar kan upprättas.

Tabell 4. Procentandel kol, kväve, fosfor, kadmium och krom som fanns kvar i biokol i relation till råmaterialet vid olika pyrolystemperaturer (vid labbförsök).

	Temperatur	**400°C**	**500°C**	**600°C**	**700°C**	**800°C**	**900°C**
Slam	kol	42,1	35,9	31,7	40,5	28,5	24,0
	kväve	44,9	36,0	24,9	22,3	10,3	4,9
	fosfor	87,6	102,9	96,5	125,3	94,6	105,3
	kadmium	80,9	84,2	64,6	24,5	7,0	3,7
	krom	84,8	92,2	92,2	113,7	84,9	95,5
Bioagropellets	kol	47,7	43,0	41,5	37,4	29,3	25,4
	kväve	61,0	47,5	44,9	34,1	23,7	19,6
	fosfor	93,6	82,3	76,7	70,6	60,5	68,9
	kadmium	69,1	47,6	24,1	9,5	10,0	7,2
	krom	61,2	40,8	43,6	48,5	31,5	21,8

Med kunskap om energiflödena kan en pyrolysanläggning köras endera för att maximera klimatnyttan eller maximera vinsten. Man kan också beräkna verkningsgrad och analysera eventuella förbättringspotentialer. I sin enklaste form består energibalansen av ingående och utgående energiflöden som är lika stora. För att det ska bli meningsfullt bör dessa specificeras mer i detalj. I detta fall utgås ifrån en anläggning där de gaser som bildas vid pyrolysen förbränns och utvecklar värme. Ingående flöden blir då råvaran som ska pyrolyseras och luft till förbränningen. Utgående flöden är biokol, värme, rökgaser, elförbrukning och förluster. Figur 7 visar en schematisk skiss över en pyrolysanläggning.



Figur 7. Schematisk bild av en pyrolysanläggning och dess energiflöden.

Följande gäller: Energin i råvaruflödet, $R = \dot{m}_R \Delta H_R$, där $\dot{m}_R$ och ΔH_R är massflöde av råvara respektive råvarans förbränningsentalpi. Energin i förbränningsluften, $L = C_{p,L}(t_{in} - t_{ref})$, där $C_{p,L}$, t_{in} och t_{ref} är luftens medelvärmekapacitet i temperaturintervallet, ingående lufts temperatur respektive referenstemperatur.

Energin i biokolflödet, $B = \dot{m}_B \Delta H_B$, där $\dot{m}_B$ och ΔH_B är massflöde av biokol respektive biokolets förbränningsentalpi.

Värme som tillvaratas, *V*, mäts på vederbörligt sätt varför det inte behöver beräknas.

Energin i rökgaserna, $Rg = C_{p,Rg}(t_{ut} - t_{ref})$, där $C_{p,Rg}$, t_{ut} och t_{ref} är rökgasernas medelvärmekapacitet i temperaturintervallet, utgående rökgasens temperatur respektive referenstemperatur.

Elförbrukningen, *E*, utgörs av vad anläggningen kräver för datorsystem, matningssystem med mera.

Förlusterna, *F*, består av mest av strålnings- och konvektionsförluster via varma ytor på anläggningen. Det ger följande uttryck:

$$R + L = B + V + Rg + E + F. \qquad (1)$$

Av dessa termer är det bara förlusterna, *F*, som inte relativt lätt kan beräknas eller mätas. Alltså kan de bestämmas genom att lösande av ekvation 1 (ovan).

Anläggningens verkningsgrad är den nyttiga energin dividerad med ingående energi. Den nyttiga energin är biokol och värme; det vill säga *B* och *V*. Verkningsgraden blir alltså

$$\eta = \frac{B+V}{R+L} \qquad (2)$$

Det kan vara värt att jämföra med en förbrännings-anläggning där råvaran (bränslet) förbränns fullständigt. Den viktigaste skillnaden är avsaknaden av biokolflöde. Energibalansen blir då $R + L = V + Rg + E + F$ och verkningsgraden $V/(R+L)$. Den ekonomiska optimeringen av en förbränningsanläggning är relativt enkel. Så länge det kostar mindre att effektivisera värmeproduktionen än vad man får betalt för värmen så ska man effektivisera. En pyrolysanläggning är betydligt mer komplicerad. Om råvaran är given beror värdet av biokolet främst på vid vilken temperatur det tillverkas. Mängden gas, som alltså förbränns för att ge värme, beror också på temperaturen. Ju högre temperatur desto mer gas och mindre biokol bildas. För en ekonomisk optimering av driften måste man alltså att väga ihop värme- och biokolproduktionen samt värdet av biokolet.



Anläggning av en tillfällig urban äng med biokol i Malmö.

Biokol i grönytor

Författare: Ann-Mari Fransson, Jonatan Malmberg och Larsola Bromell

Inom Rest till Bäst har flera försök med tillsats av biokol till urbana ängar och andra gräsytor genomförts. Resultaten visar att både tillväxt och vitalitet hos vegetationen påverkas positivt av biokoltillförsel, i sandiga jordar såväl som jordar med hög lerhalt.

För att avgöra om biokol ska användas när grönytor anläggs måste först önskad funktion och mål med ytan klargöras. Biokol kan bland annat användas när 1) grönskan behöver ha en hög eller säker tillgång till vatten, 2) näring ska hållas kvar i marken, 3) vatten ska renas från föroreningar, 4) lätt förorenade jordar ska saneras och 5) en kolsänka ska skapas.

Generellt brukar man säga att biokol har störst effekt i genomsläppliga jordar, som sandjordar, och jordar med lågt pH. Biokol höjer där både den vatten- och näringsförhållande förmågan och pH.

Goda resultat med biokol i jorden

Vi har testat två olika biokol – ett biokol producerat av trä och ett producerat av bioagropellets – i de grönytor som undersökts inom projektet. På de platser där vedbiokol har använts har vegetationen etablerats väl och växer generellt bättre än i likvärdiga ytor utan biokol. Även försöken med biokol från bioagropellets har gett goda tillväxtresultat. Förutom en förbättrad tillväxt har vi även sett indikationer på en större resiliens mot extrem torka. Det är dock komplicerat att utvärdera biokolets effekt då tillförsel av biokol i befintliga jordar ofta är förenat med andra markförbättrande åtgärder, såsom luckring av växtbädden.

I försöken har en biokolhalt på mellan 10 och 15 volymprocent använts. I en del av försöken har biokol tillförts till befintlig jord, i andra blandats in i anläggningsjorden innan etablering. Till befintliga gräsytor har vi även testat att tillföra biokol genom hålpipning och nedsopning.

Biokol i en tillfällig urban äng

På Skeppsbrokajen i Malmö påbörjades under 2020 ett arbete med att skapa upplevelsevärde under en begränsad tidsperiod – en slags mellananvändning inför kommande exploatering. I samband med detta anlades en tillfällig urban äng på en annars död asfaltsyta. Växtbädden är tänkt att som helhet kunna återanvändas på en ny plats när tiden för mellananvändningen på Skeppsbrokajen är över.

Sju olika jordblandningar testades. Blandningarna baseras på återvunnen sand och sten, biokol av träflis och olika typer av grönkompost.

En mer omfattande utvärdering av ängen kommer att ske under 2021. Hittills har vissa skillnader i tillväxt av ängsväxter och förekomst av ogräs på de olika ytorna observerats. De ytor som har biokol, sten, sand och en liten mängd kompost, eller ingen kompost alls, ser lovande ut.

Gräsytor kan bli urbana ängar

En annan möjlighet att etablera ängar i staden är att omvandla befintliga gräsytor genom att täcka ytorna och bearbeta dem, något som testades i stadsdelen Augustenborg i Malmö. Biokol tillsattes till vissa av ytorna med den bakomliggande tanken att tillförsel av biokol initialt ofta resulterar i kvävebrist, då det binder kväve mycket effektivt. Genom att tillsätta biokol, och därmed minska kvävetillgången, skulle etableringen av ängsväxter kunna gynnas på bekostnad av kvävegynnade arter, det vill säga ogräs.

Tre försöksytor etablerades under 2016 på tidigare gräsmark. Till varje försöksyta tillsattes kalk, och kalk tillsammans med halm, med tanken att reducera mängden växttillgänglig fosfor och kväve. En artrik fröblandning såddes in. Under våren 2019 behandlades alla ytor med jordfräs och ängsväxter såddes in på nytt. I samband med detta tillsattes även biokol av bioagropellets till hälften av ytorna.

Preliminära resultat från vegetationsanalyser under 2020 visar att tillsatsen av biokol kan ha gynnat antalet etablerade ängsväxter (81% sannolikhet). Det finns ingen skillnad i hur många arter som invandrat till ytan, utan det är etableringen av de insådda arterna som står för den förmodade skillnaden. Täckningsgraden på de ytor där biokol tillförts var dock låg. Detta tyder på att biokol (utan gödsling) kan öka antalet arter på en yta, men att växterna växer långsamt och blir små. Fler uppföljningar, och försök, behövs för att säkerställa resultaten.


Äng som tidigare varit gräsmark.

Biokol i fotbollsplaner

I Linero i Lund har biokol tillsatts till en befintlig fotbollsplan med målet att förbättra grästillväxten. Gräsmattan hade dålig tillväxt och kala fläckar. Biokolets vatten- och näringshållande egenskaper bidrar till ett djupare och mer förgrenat rotsystem, och därmed mer tåliga och slitstarka gräsytor. Därtill utgör biokolet i marken en kolsänka. I fotbollsplanen på Linero har drygt 20 ton CO_2-ekvivalenter bundits och registrerats i Ecoeras plattform för klimatkompensation.

Biokol, producerat av bioagropellets, tillsattes i oktober 2019 genom att planen perforerades med en hålpipluftningsmaskin. Biokol spreds sedan ut på planen med hjälp av en dressmaskin och borstades ned i hålen. Planen toppdressades därefter med 75 ton sand- och mullblandning.

Under 2020 har de kala fläckarna utan gräs nästan helt försvunnit och gräsets tillväxt har ökat. När markprofilen studerades syntes biokolet som ett 1-2 cm lager under toppdressingen. Det finns även kilar av biokol ner till cirka 5 cm. Det hade förväntats att biokolet skulle komma längre ner i markprofilen. Möjligen försvårade ett regn nedborstningen av biokolet i hålen då biokolet klibbade ihop.

Metoden har efter detta test använts på flera fotbollsplaner. Under 2020 etablerade Skånefrö, inom ramen för Rest till Bäst, Sveriges första helt nyanlagda fotbollsplan med biokol i samhället Gärsnäs i Skåne. Grästillväxt, hållfasthet och slitstyrka är så här långt mycket god och planen har en jämn och fin spelyta.


Sveriges första fotbollsplan med biokol anlagd av Skånefrö i Gärsnäs, Skåne.


Ann-Mari Fransson planterar en av projektets gröna testväggar.

Biokol i gröna tak och gröna väggar

Författare: Ann-Mari Fransson, Jonatan Malmberg och Lina Pettersson

Inom Rest till Bäst har flera försök med biokol i gröna tak och gröna väggar genomförts. Resultaten visar att biokol bidrar med positiva egenskaper i dessa system och kan bidra till att binda in kol också i grönska på byggnader.

Biokol är ett poröst och lätt material vilket passar i lätta substrat för gröna tak och väggar, där den vatten- och näringshållande kapaciteten behöver förbättras men där vikten är en begränsande faktor. Biokol fungerar ungefär som ett organiskt material sett till dess förmåga att öka substratets vattenhållande kapacitet och binda näringsämnen. Men till skillnad från annat organiskt material bryts biokol inte ned inom en överskådlig framtid.

Biokol i grön vägg med fickmoduler

Inom ramen för Rest till Bäst har flera gröna testväggar etablerats för att studera hur olika växtarter reagerar på biokol i substratet. Ett av dessa försök utförs i Alnarp. Här undersöks hur levande väggar med biokol kan stödja biologisk mångfald, och om det med hjälp av biokol går att skapa en estetiskt tilltalande växtvägg med enbart inhemska vilda arter.

Väggen utgörs av en så kallad fickvägg med underbevattningsmatta. I alla fickor tillsattes ett pimpstensbaserat substrat för gröna väggar samt biokol baserat på bioagropellets. En gradient av biokol etablerades, med mellan 0 och 50 volymprocent biokol (0, 2%, 5%, 8% 10%, 13%, 15%, 20%, 25% och 50%). Varje planta har uppskattningsvis en liter substrat tillgängligt och växterna droppbevattnas automatiskt.

Åtta olika arter (fjällkåpa, axveronica, blodnäva, sandnejlika, lingon, tjärblomster, backsippa, lungört) planterades i gradienten. Arterna valdes ut på grundval av deras varierande pH-tolerans. Fjällkåpa och blodnäva påverkas troligen inte nämnvärt av pH utan mer av biokolsgradienten. Tjärblomster, lungört och lingon trivs inte vid högre pH, medan axveronica och sandnejlika gör det. Backsippa gynnas av väldränerat underlag och finns oftast på kalkrik jord men har hittats på jordar med pH 5 i Sverige.

De visuella analyserna indikerar att de flesta växtarterna växer lika bra i substratet där biokol tillsatts som där det inte finns biokol. För flera av växterna gäller det även vid så höga mängder biokol som 25 och 50 volymprocent. Detta indikerar att det går att anlägga gröna väggar med biokol och en mångfald av arter. De surgynnade växterna, som normalt trivs i låga pH, växer dock inte särskilt bra då det blir större mängder biokol (>20 volymprocent) i substratet.



Biokol i odling av sedummatta

Veg Tech AB är Sveriges största producent av sedummattor för gröna tak. Under 2020 har företaget tagit beslutet att använda biokol i sin odling av sedummattor, vilket innebär att cirka 200 m^3 biokol årligen kommer att blandas i substrat för odling. Biokolet som används kommer från Veg Techs egen biokolpanna.

Biokol förväntas tillföra flera mervärden i ett sedumtak, bland annat ökad koldioxidinlagring, ett rikare mikrobiellt liv, minskade skötselkostnader och minskad risk för näringsläckage.

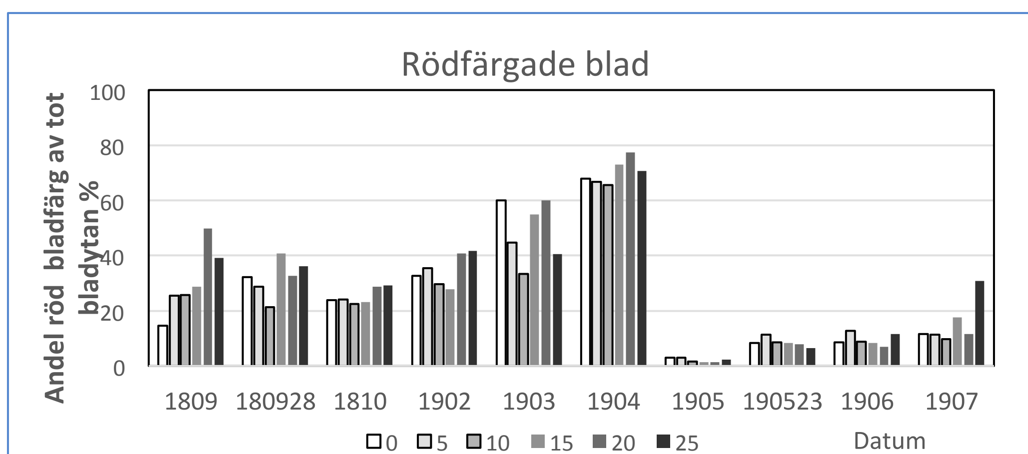
Veg Tech startade sin produktion av biokol på företagets produktionsanläggning i Småland 2019, parallellt med deltagande i projektet Rest till Bäst. Biokol av jämn och hög kvalitet produceras från bränslepellets i en Biomacon-anläggning. Spillvärmen används för att värma växthus, kontor och arbetshall.

Genom deltagande i projektet har Veg Tech vunnit viktig kunskap och erfarenhet, något som i hög grad bidragit till att egenproducerat biokol kommer att skapa klimatnytta i produkter och system för gröna tak.

Biokol till platsanlagda sedumtak

Sedumtak kan även anläggas i form av så kallade platssådda tak med anpassade substrat och etablering av vegetation genom spridning av sedumsticklingar. På Augustenborgs botaniska takträdgård anlades ett sådant tak våren 2018 med pimpstensbaserat substrat från Bara Mineraler och 50 mm växtbädd. Takytan delades in i sex likadana fält med olika mängd tillsatt biokol (producerat av bioagropellets) i en gradient från 0 till 25 volymprocent (0, 5%, 10%, 15%, 20% och 25%). Biokolet blandades in i hela växtbädden. Etableringen av sedumsticklingar gick långsamt på grund av den varma sommaren 2018, men nådde en god täckningsgrad under 2019 och 2020. Försöket kommer att följas upp under 2021.





Figur 8. Andel rödfärgade blad i sedummattor odlade i Veg tech:s modulsystem för gröna tak, Hydropack, med en biokolgradient från 0 till 25 volymprocent.

Biokol till gamla sedumtak

Med målsättningen att ersätta industriellt framställda mineralgödningsmedel med organiska gödningsmedel tillsattes biokol till ett gammalt sedumtak (anlagt 2002) på Augustenborgs botaniska takträdgård i Malmö. Försöket genomfördes under 2017 till 2019. Två biokolsbehandlingar – en med 674 gram näringsladdat biokol/m² (motsvarande 6 gram N/m²) och en med 1 348 gram näringsladdat biokol/m² (motsvarande 12 gram N/m²) – samt en kontrollbehandling och en behandling med ett konventionellt långtidsverkande gödningsmedel (motsvarande 6 gram N/m²) etablerades. Biokolet som användes var producerat av bioagropellets och hade laddats med flytande biogödsel. Varje behandling utfördes med tre upprepningar. Takets avrinningsvatten analyserades.

Under sommaren 2017 växte sedumplantorna i de ytor som gödslats med konventionellt gödningsmedel och biokol med 12 gram N/m² bättre än kontrollplantorna och de plantor som behandlats med biokol med 6 gram N/m². Sommaren 2018 var mycket torr och samtliga ytor var mycket torkstressade. Under 2019 var den vegetativa återhämtningen bättre för biokolbehandlade ytor än de som hade gödslats med konventionellt gödningsmedel. Den generativa tillväxten, vilken mättes i mängden blomning i juni 2019, var högst för växter som behandlats med biokol med 12 gram N/m² och med det konventionella gödningsmedlet. Avrinnings-proverna visade generellt ingen skillnad i näringsläckage mellan de olika behandlingarna, förutom att kaliumläckaget var något högre för biokol med 6 gram N/m².

Försöket tyder på att biokol laddat med organiskt gödningsmedel kan fungera som ett substitut för konventionella kapslade gödningsmedel, om doseringen är tillräckligt hög (12 gram N/m²). Fler försök behövs dock för att utvärdera den långsiktiga effekten. Det finns också en risk för vindavdrift vid biokoltillsats till vindutsatta tak. Hur stor andel biokol som finns kvar i växtbädden kommer att analyseras i ett eventuellt steg 3.

Vitalitet på gröna tak

Hur stor kolsänka som kan etableras i ett taksystem utan att vegetationen påverkas negativt undersöktes i Veg tech:s modulsystem för gröna tak, Hydropack. Odlingsförsök med sedum, örter och gräs etablerades i substrat innehållande en gradient av biokol (0, 5, 10, 15, 20 och 25 volymprocent). Vegetationens utveckling fotodokumenterades från augusti 2018 till juli 2019. Gödsling utfördes vid ett tillfälle i maj 2019.

Digital analys av bladfärg (figur 8) visade att 0-15 volymprocent biokol inte hade någon negativ effekt på vegetationen. När andelen ökade till 20-25 volymprocent ökade frekvensen rödfärgade blad, något som indikerar att vegetationen är stressad, troligen på grund av näringsbrist. Den sjunkande täckningsgraden vid högre tillsatser av biokol indikerar också att en hög andel biokol begränsar vegetationens tillgång på näring. Under försöksperioden inföll en torkperiod. Vid begränsad tillgång på vatten verkar en tillsats på 5 och 10 volymprocent biokol ha en positiv inverkan på vegetationens vitalitet.



Biokol i trädplanteringar

Författare: Ann-Mari Fransson och Larsola Bromell

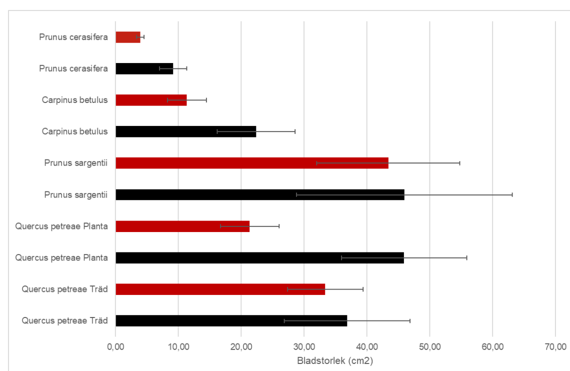
Träd som vuxit under en längre tid i jord där biokol tillsatts växer bättre än träd i jord utan biokol. Det gäller både i befintliga lerjordar och anläggningsjordar. Även vitaliteten påverkas positivt.

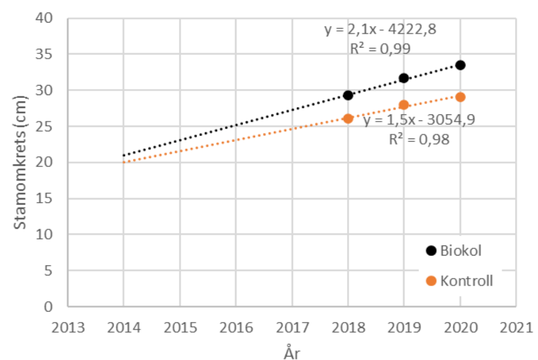
Varvsparken i Malmö

I Varvsparken i Malmö har tillsats av biokol (10 volymprocent) till anläggningsjorden resulterat i att de flesta träd och buskar, däribland bergek, körsbärsplommon och bergkörsbär, växer bättre. Endast avenboken växte sämre. Det beror troligen på avenboken är sämre på att konkurrera om resurser.

Planteringen har följts sedan etableringen 2014 och skillnader i tillväxt syntes redan efter två år (figur 9). Därefter har skillnaderna bara ökat. Sex år efter planteringen har till exempel bergekar som växer i jord med biokol 16% större stamomfång än de bergekar som växer i jord utan biokol.

De ekar som växer i jord utan biokol drabbades hårdare av torkan 2018 än de ekar som växer där det finns biokol i marken. 5 av 8 (63%) av de ekar som står i jorden utan biokol hade skadade toppar jämfört med 1 av 7 (14%) av de ekar som står i jorden med biokol.





Figur 9. Bladstorlek hos fyra olika arter (till vänster) och stamtillväxt hos bergek (till höger) som vuxit i jord med och utan biokol i Varvsparken i Malmö. Röda staplar är jord utan biokol och svarta staplar jord med biokol.

Agnesfridsvägen i Malmö

Fastighets- och gatukontoret i Malmö förvaltar drygt 77 000 träd med individuellt ID-nummer, utöver de träd som står i bestånd. Av dessa återfinns ca 27 000 träd längs gator. Skogslönnarna (*Acer platanoides* 'Columnare') på Agnesfridsvägen utgör ett vanligt förekommande exempel på gatuträdsplantering. Träden planterades år 1998 i en traditionell AMA-jord med låg total växtbäddsvolym per träd. Vatten- och näringstillgången är mycket låg och jorden kompakterad. Träden har därför vuxit långsamt och är överlag i mycket dåligt skick. Genom att tillsätta biokol kan jordens vatten- och näringshållande kapacitet öka, vilket bör leda till en förbättrad vitalitet hos träden.

Det vetenskapliga försöket består av fyra block, med fyra träd i varje block. Ett träd i varje block har lämnats obehandlat. Två träd har behandlats med biokol (40 liter biokol per träd från 0 till cirka 35 cm djup i marken). Biokolet trycktes (sköts) ned i marken runt lönnarna med hjälp av en luftlans. Det fjärde trädet har behandlats med tryck, men utan biokol. På så sätt kan den uppluckringseffekt som tryckbehandlingen ger upphov till separeras från effekten av biokol. Biokolet som användes var producerat av bioagropellets.

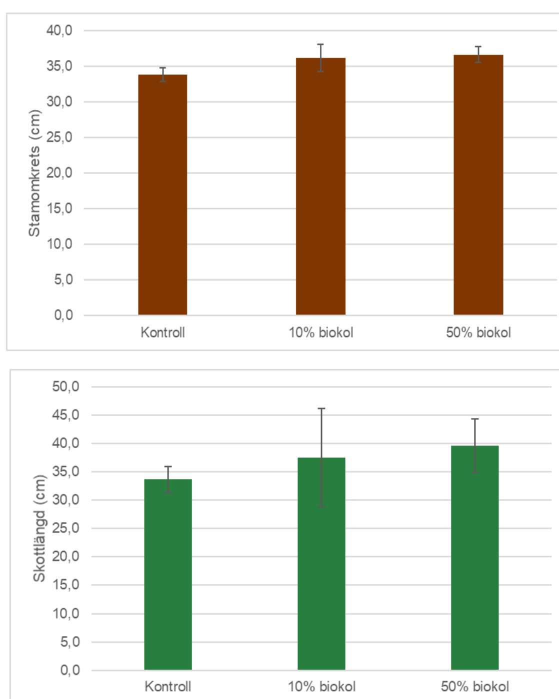
Ett av de träd som har behandlats med biokol i varje block kommer under 2021 även att gödslas med NPK-gödsel samt mikronäringsämnen.

Resultaten efter ett år visar inga skillnader i tillväxt mot kontroll. Eftersom ingen gödsling utfördes under det första året behöver inte en utebliven tillväxtskillnad ses som negativt. Detta på grund av att biokol, innan den är näringsladdad, har egenskapen att med sin höga jonutbyteskapacitet fånga upp de näringsämnen som annars kommit träden tillgodo. En liten ökning av den organiska halten har kunnat påvisas där biokol tillsatts. Den vattenhållande förmågan verkar inte följa samma kurva. Vi hoppas kunna fortsätta följa upp träden under växtsäsongen 2021.

Råby kajpromenad i Lund

Råby ligger i östra Lund och är ett nybyggt område. Invid bostadsområdet anlades en dagvattendamm och en promenad som är utformad som en kaj. Lindar (*Tilia cordata*) planterades i den befintliga leran år 2016. I ett försöksled blandades jorden med 10 respektive 50 volymprocent biokol och i en del av planteringen lämnades jorden utan biokol som kontroll. Träden bevattnades under de första åren. Lindarna som växer i de olika jordarna återbesöktes efter 6 år och utvecklingen registrerades.

De träd som har haft 10 respektive 50 volymprocent biokol i jorden har haft 7-8% högre stamtillväxt än kontrollträden. Även skottlängden är i genomsnitt 17% högre för träd i jord med 50 volymprocent biokol sex år efter etableringen.



Figur 10. Stamtillväxt och skottlängd hos lindar som vuxit i jord med och utan inblandning av biokol. Jorden är en befintlig, relativt lerig, jord.



Regnbädd i Rosendal, Uppsala.

Biokol i blågröngrå system

Författare: Johan Eriksson och Ann-Mari Fransson

I Rosendalsområdet i Uppsala anlades under 2019 ett långt stråk av blågröngrå system med biokol i syfte att omhänderta dagvatten från bil-, gång- och cykelvägar. Provtagningar indikerar att regnbäddar kan rena partikelbundna ämnen. Fler studier behövs dock, då systemet inte fungerade optimalt av byggnadstekniska skäl. Även trädförsök med biokol har påbörjats. Uppföljning sker under nästa år.

Längsmed Vårdsätravägen i Rosendal i västra Uppsala (som har cirka 15 000 passager i medeldygnstrafik) har flera regn- och växtbäddar byggt i syfte att rena dagvattnet från föroreningar och näringsämnen, och att bidra till en grönare gatumiljö som inte kräver bevattning. För att kunna hantera kraftiga regn och infiltrera stora mängder vatten användes porösa krossmaterial där hålrummen saknar finmaterial. Biokol tillsattes för att rena dagvattnet och öka substratets vattenhållande förmåga. Gallerbunnar i såväl bilväg som gång- och cykelväg leder vattnet in i bäddarna.

I Uppsala används grundvattnet som stadens dricksvattentäkt, och det anses som känsligt inom vissa delar av staden. Alla bäddar byggdes därför med ett tätskikt av bentonitmatta för att säkerställa att vattnet leds vidare till dagvattensystemet och slutligen till recipient (Fyrisån) och inte infiltrerar till grundvattnet.

Tre regnbäddar med olika innehåll av biokol, samt brunnar för att underlätta provtagning och studera reningseffekten på dagvattnet på kort och lång sikt, anlades. De sista bäddarna anlades våren 2019 och växtligheten har därmed haft två somrar på sig att växa.

Mätprogram för reningseffekt

För att genomföra försöken inom planerad tid och inte vara nederbördsberoende så valdes att tillföra dagvatten hämtat från en dagvattendamm. Det medförde full kontroll på tillförd mängd och koncentration av analyserade parametrar. För att få ytterligare kontroll på vattenbalansen användes även ett spårämne i försöken.



Rest till Bäst:s projektgrupp på studiebesök i Rosendal våren 2019.

Metaller, polycykliska aromatiska kolväten (PAH), olika näringsämnen och poly- och perfluorerade alkylsubstanser (PFAS; ämnesgruppen återfanns i dammens vatten) analyserades.

Tillfört vatten provtogs flödesproportionellt och inflödet justerades till ett flöde som motsvarar ett normalårsregn. Utgående vatten provtogs också flödesproportionellt med flödesmätare på utgående ledning.

Resultat och lärdomar från reningsförsöken

Mätningarna för att utvärdera reningseffekten av biokol överskuggas av att det inte gick att få en acceptabel vattenbalans mellan in- och utgående vatten, vilket indikerar att bäddarna läcker. Därför är de genomförda analyserna mycket osäkra och redovisas inte. Indikationer finns att näringsämnen, till exempel fosfor, kan läcka från regnbäddarna, medan andra huvudsakligen partikelbundna ämnen avskiljs (till exempel vissa metaller, PAH, olja och suspenderat material). Eftersom det inte går att jämföra behandlingarna går det inte heller att fastslå orsaken till det eventuella läckaget.

Orsaken till att bäddarna är otäta är ännu oklart, men utreds vidare. Något som är oroande är att detta inte upptäcktes tidigare. Det är viktigt att dokumentera känsliga delar extra noga i anläggningsskedet. Det kan också vara motiverat att införa täthetstest när systemen byggs för att säkerställa funktionen innan anläggningen färdigställs, vilket sparar tid och pengar för alla inblandade.

Trädförsök med biokol

Utöver reningsförsöken finns även nyligen etablerade trädförsök där effekten av biokol på sex olika trädarter kommer att undersökas. Trädarterna utgörs av skogsek, avenbok, vårtbjörk, magnolia, hassel och fågelbär.

En del av träden växer i regnbäddar som är uppbyggda av två olika kommersiella regnbäddssubstrat, med eller utan biokol i substratet. Alla regnbäddar har liknande vattentillförsel. Andra träd växer i vegetationsytor på öppet förstärkningslager (det stenlager som fördelar de laster som ytan utsätts för). En del av dem har biokol i substratet, andra inte. Dessa ytor får vatten underifrån via det öppna förstärkningslagret. Övriga träd är planterade i trädgropar med biokol. Trädgropar är gropar med substrat som kan ta emot mycket vatten, men där slitytan är ogenomtränglig (liknande de trädplanteringar som används i Stockholm).

Förutom att studera effekterna av biokol på trädtillväxt, vitalitet och näringsinnehåll i de olika systemen vill vi även se hur träden påverkas av den vattenmängd som de utsätts för. Planteringar med olika förhållande mellan avrinningsyta och växtbäddsyta kommer därför att studeras.



Regnbäddar med gallerbrunn för vatten från gång- och cykelväg, rektangulär brunn för provtagningsutrustning och en rund mätbrunn där utgående vatten från regnbädden kan provtas och flödesmätas. Foto: J Olofsson, Geosigma.



Kolsänkepotential hos biokol producerat av olika råmaterial

Författare: Olivia Cintas (översatt av Johannes Hagström)

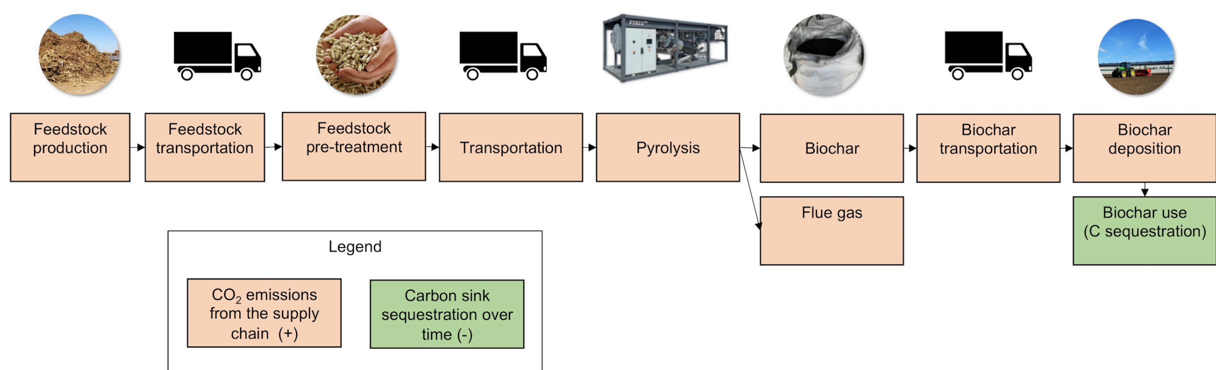
Biokol bidrar till att binda koldioxid. Det visar livscykelanalyser utförda inom ramen för Rest till Bäst. Hur stor kolsänkan blir beror på vilket råmaterial som används. Biokol producerat av bioagropellets och park- och trädgårdsavfall verkar ha störst kolsänkepotential.

Livscykelanalyser (LCA) för biokol producerat av de olika råmaterial som har använts inom Rest till Bäst gjordes. I analyserna inkluderades direkta utsläpp av växthusgaser från insamling, transport och förbehandling av råmaterial och produktion av biokol, samt inbindning av kol i biokol.

De utsläpp som har undvikits genom att råmaterialen inte bryts ned i naturen (frörens och park- och trädgårdsavfall) eller lagras (slam och tång) har inte tagits med i analyserna.

Biokolets kolbindande förmåga beror på hur stabilt det är i marken. Biokol med låg O/C-kvot oxiderar mycket långsamt, och är kvoten mindre än 0,2 har biokolet en halveringstid på mer än 1 000 år (Spokas, 2010). I analyserna antas att 95 % av biokolet kommer att finnas kvar efter 100 år. En korrektionsfaktor på 95 % har inkluderats i beräkningarna för att kompensera för eventuella fel.

Alla resultat presenteras i per ton torrsubstans av biokol.



Figur 11. Processer som inkluderats i livscykelanalyserna för biokol producerat av olika råmaterial.

Utsläpp vid produktion av biokol

Gemensamma förutsättningar för livscykelanalyserna för alla råmaterial är:

1) Utsläppen från transporter är satta till 27,5 g CO_2-eq/ton och kilometer. Det motsvarar utsläppen från en lastbil med 30 tons last och en dieselförbrukning på 30 liter per 100 km (Mårtensson, 2010; von Bahr, 2016). Värdet multiplicerades med två för att även inkludera returfärden.

2) Utsläppen från den svenska elmixen är satt till 0,035 kg CO_2-eq/kWh (EEA, 2018).

3) Utsläppen från gasol (LPG) är satt till 63,1 kg CO_2-eq/GJ (IPCC, 2019).

4) Vid pyrolysen användes 3 GJ LPG och 1 200 kWh elektricitet/ton biokol (Ecoera och Skånefrö).

5) Utsläppen vid pyrolys motsvarar 231 kg CO_2-eq/ton biokol för alla råmaterial.

Bioagropellets

Restprodukter från skörd av spannmål och gräs (frörens) pelleteras i Skånefrös anläggning i Tommarp. Anläggningen antas förbruka 100 kWh el/ton producerad bioagropellets (WBA, 2014; Obernberger & Thek, 2010). Det blir 14 kg CO_2-eq/ton biokol. Bioagropelletsen transporterades sedan från Tommarp till Skånefrös pyrolyspanna i Hammenhög med lastbil (7,2 km enkel resa). Utsläppen från transporten blir därför 1,19 kg CO_2-eq/ton biokol.

Under pyrolysprocessen bildas, förutom biokol, gaser som förbränns. Dessa används delvis för att täcka interna energibehov. Restvärmen, 733 kWh/ton biokol, går ut i fjärrvärmenätet. Denna restvärme är inte inkluderad i livscykelanalysen.

Vi antar sedan att biokolet transporteras 10 km med lastbil till den åkermark där det ska användas. Det resulterar i ett utsläpp på 0,73 kg CO_2-eq/ton biokol. Utsläppen vid spridningen av biokolet på åkern kan jämföras med den vid spridning av mineralgödning, och därmed tillkommer 6,2 kg CO_2-eq/ton biokol (von Bahr, 2016).

Park- och trädgårdsavfall

Park- och trädgårdsavfallet krossades med maskinen CBI 6400 (0,5 l diesel/m^3), sållades med hjälp av en Doppstadt SM620 (0,08 l diesel/m^3) och lastades med en Volvo L70 (0,07 l diesel/m^3). Data på mängden diesel som förbrukas kommer från Lunds kommun och baseras på försök med förhållandevis små mängder park- och trädgårdsavfall. Utsläppen av växthusgaser under förbehandlingen beräknas till 7,1 kg CO_2-eq/ton avfall, med antagandet att det blir 237 kg/m^3 krossat avfall vilket motsvarar 27,6 kg CO_2-eq/ton biokol. Transportsträckan från insamling till pyrolysanläggning vid kommersiell hantering uppskattades till 10 km, vilket resulterar i ett utsläpp på 2,16 kg CO_2-eq/ton biokol.

Precis som för bioagropellets täcker förbränningen av gaser delvis interna energibehov. Restvärmen, (733 kWh/ton biokol) går ut i fjärrvärmenätet.

Även här antar vi att biokolet transporteras 10 km med lastbil till den åkermark där det ska användas. Det resulterar i ett utsläpp på 0,73 kg CO_2-eq/ton biokol. Utsläppen vid spridningen av biokolet på åkern uppgår till 6,3 kg CO_2-eq/ton biokol (von Bahr, 2016).

Tabell 5. Mängd biokol som erhålls efter pyrolys av olika råmaterial och det resulterande biokolets egenskaper och kolinbindningpotential. PoT=park- och trädgårdsavfall.

	Bioagro-pellets	**PoT-avfall**	**Slam**	**Alger & tång**
Utvunnen mängd % (ton biokol/ton förbehandlat råmaterial)*	33	34	50	41
Fukthalt %**	25	25	11,7	10,7
Kolinnehåll % (torrt)**	70	65,5	33	35
O/C**	0,054	0,053	0,089	0,089
H/Corg** (gränsvärde 0,7 enligt EBC)	0,38	0,23	0,54	0,54
Stabilisering %	95	95	95	95
Korrektionsfaktor %	95	95	95	95
CO_2-inbindning (ton CO_2-eq/ton biokol)***	2,31	2,16	1,09	1,16

* Data från EkoBalans (600°C) /**data från Ecoera & Skånefrö/

*** CO_2-inbindning = Kolinnehåll x 44/12 x Stabilisering x Faktor för fel

Slam

Slammet från Lunds kommun har en vattenhalt på dryga 75%. Vid kommersiell hantering förutsätter vi att en pyrolysanläggning byggs i närheten av reningsverket, och vi antar därför en transportsträcka på 10 km. Då blir utsläppen 4,15 kg CO_2-eq/ton biokol. På grund av den höga vattenhalten måste slammet torkas före pyrolys, och torrsubstanshalten öka från 25 % till 85 %. Vi antar att restvärmen från pyrolysen kan användas för att torka slammet och att ingen extern energitillförsel krävs.

Även här antar vi att biokolet transporteras 10 km med lastbil till en åker där det sprids. Transporten resulterar i ett utsläpp på 0,62 kg CO_2-eq/ton biokol och spridningen i ett utsläpp på 5,3 kg CO_2-eq/ton biokol (von Bahr, 2016).

Alger och tång

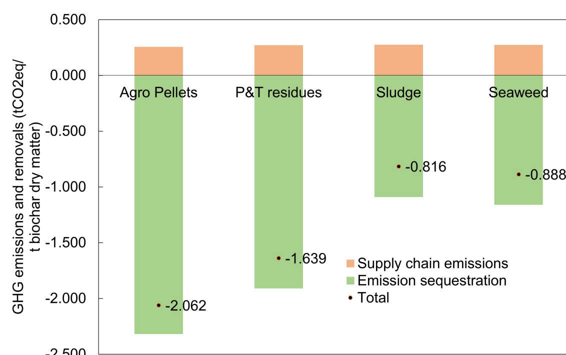
Alger och tång samlades in i Trelleborg, och precis som slammet innehöll biomassan mycket vatten. Vi antog att den våta biomassan transporterades i 10 km till en lämplig plats för förbehandling och pyrolys. Utsläppen från transporten blir då 5 kg CO_2-eq/ton biokol. Strandinsamlad tång har en torrsubstanshalt på mellan 15 och 40%, beroende på bland annat säsong och väder. Precis som slammet behöver algerna och tången torkas till minst 85% torrsubstanshalt, och vi antar att det görs med restvärme från pyrolysen.

Även här antar vi att biokolet transporteras 10 km med lastbil till en åker där det sprids. Transporten resulterar i ett utsläpp på 0,62 kg CO_2-eq/ton biokol och spridningen i ett utsläpp på 5,2 kg CO_2-eq/ton biokol (von Bahr, 2016).

Biokolets kolsänkepotential

Alla fyra råmaterialen ger biokol med tydlig kolinbindningspotential. Biokol producerat av bioagropellets och park- och trädgårdsavfall ger en kolsänka på drygt 2 ton CO_2/ton biokol (tabell 5, figur 12). Slam och alger och tång ger en kolsänka på drygt 1 ton CO_2/ton biokol. Skillnaden beror på att det är olika mängd kol i biokol baserade på olika råmaterial. Utsläppen av växthusgaser vid produktionen av biokolet är liten för alla råmaterial (cirka 10-25% av inbindningen), men något högre för slam och alger och tång på grund av deras höga vattenhalt, vilket ökar utsläppen vid transport.

Restprodukter från jordbruket och park- och trädgårdsavfall är relativt attraktiva restprodukter ur ett hållbarhetsperspektiv. Det är däremot inte slam och alger och tång. Att pyrolysera de sistnämnda är därför ett intressant alternativ, eftersom restprodukten tas om hand samtidigt som de



Figur 12. Kolsänkans storlek hos biokol producerat av olika råmaterial. P&T=park- och trädgårdsavfall.

utsläpp av metan och lustgas som annars sker vid lagringen av dem minskar. Att producera biokol av alger och tång kan till exempel minska utsläppen med 3 ton CO_2/ton biokol (Bucefalos; Thelin, 2016). Motsvarande siffra för slam är 0,5 ton CO_2/ton biokol (Gabriel *et al.*, 2003; Willen *et al.*, 2011). Val av restprodukter är något som vi bör titta närmare på i framtida projekt.

Referenser

von Bahr B, 2016. Miljösystemanalys av Ekobalansprocess för pyrolys av slam.

BUCEFALOS B.4. Biogas från alger och våtmarksväxter. En teknisk rapport inom BUCEFALOS B.4

EEA, 2018. European Environmental Agency: CO_2 emission intensity. Tillgänglig på: https://www.eea.europa.eu/ (hämtad 26/10, 2020).

Gabriel S, Lund Hansen T, Højlund Christensen T, Sommer SG, Sørensen, K, 2003. Metanemission fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation. Miljøprojekt nr 817, Miljøstyrelsen, Danmark.

IPCC, 2019. Refinement with the 2006 IPCC Guidelines. For National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2: Energy, Chapter 2: Stationary Combustion. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Mårtensson L, 2010. Emissions from Volvo´s trucks, PM, reg nr 2064010005, date 2010-04-28, Environmental Affairs.

Obernberger I, Thek G, 2010. The Pellet Handbook – the production and thermal utilisation of biomass pellets (1 ed.). London, UK, Earthscan Ltd.

Spokas KA, 2010. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. Carbon Management 1(2), 289-303.

Thelin G, 2016. Pyrolys av organiska restflöden i Lund, Trelleborg och Malmö.

Willén A, Rodhe L, Jönsson H, Pell M, 2011. Comparison of reduction potential of greenhouse gases from storage of different types of sewage sludge under Swedish conditions. Presenterat vid konferensen IWA.

WBA, 2014. Word Biomass Association: Energy use for pellet production. Available at: https://worldbioenergy.org/uploads/Factsheet%20-%20Pellets.pdf (hämtad 11/5, 2020).


Kustremsa i Trelleborg.

Biokolets samhällsnytta

Författare: Mirja Ullvig och Johannes Hagström

Biokol har potential att bidra till ett cirkulärt samhälle och en klimatsmart framtid genom de positiva effekter det har på flera olika samhällssektorer. Det binder kol, skapar livskraftiga odlingssystem och minskar föroreningarna i mark och hav. Dessutom genererar det en rad nya affärsmöjligheter.

Biokol bidrar till ett bättre klimat

Genom att samla in organiskt restmaterial, som till exempel tång, och göra biokol av det kan koldioxidutsläpp som annars sker under lagringen av biomassan undvikas. Beräkningar visar att den mängd alger och tång som behövs för att producera 1 ton biokol kan släppa ut metan och lustgas motsvarande 2,5 ton CO_2-eq vid naturlig nedbrytning. Gör man istället biokol av det får man en inbindning på cirka 1 ton CO_2-eq per ton biokol. Motsvarande beräkningar för slam respektive park- och trädgårdsavfall visar att de binder cirka 1 respektive cirka 2 ton CO_2-eq per ton biokol. Ju högre kolinnehåll i råvaran desto större kolinbindning i det resulterande biokolet. Biokol från alla de råmaterial som testades i Rest till Bäst var stabila och har därför en lång halveringstid i jorden. Det innebär att de binder kol under lång tid framöver.

Biokol skapar dessutom förutsättningar för nya odlingssätt i urbana miljöer. Det kan därmed bidra till att öka mängden koldioxid som lagras i jord och vegetation i städer.

Biokol minskar gifterna i samhället

Våra pyrolysförsök visar att miljögifter (kadmium och kvicksilver) och organiska föroreningar (PAH:er, PCB:er och dioxiner) avskiljs effektivt från råmaterialet under pyrolysprocessen. Det resulterande biokolet blir därmed betydligt renare än den ursprungliga restprodukten.

Kemikalieinspektionen har beräknat att samhällets kostnader för benbrott som kan härledas till kadmium i maten är 4,2 miljarder kr per år. Utöver detta kan kadmium också orsaka skador på bland annat njurarna. Metoder såsom pyrolys, som reducerar mängden tungmetaller, PAH:er (som är cancerogena), virus och läkemedelsrester i samhället, kan ge stora besparingar inom sjukvården.

Förutom att flera miljögifter avskiljs i pyrolysprocessen har biokol även visats kunna binda flera olika giftiga ämnen i marken (Enell *et al.*, 2020). Det innebär att ämnena inte är lika tillgängliga för upptag av växter. Urlakningen av miljögifter från marken, vid till exempel kraftiga skyfall och höga flöden, kan också minska. Eftersom biokol verkar gynna markmikro-organismerna, och en del av dessa bryter ned miljögifter, skulle tillsatts av biokol eventuellt kunna resultera i att föroreningarna inte bara binds in, utan på sikt minskar i marken.

Försök inom Rest till Bäst tyder också på att biokol laddat med ett organiskt gödningsmedel i vissa fall skulle kunna fungera som ett substitut för mineralgödsel. Detta skulle i förlängningen kunna bidra till en minskad spridning av kadmium.

Biokol ger livskraftiga odlingssystem

Vegetation i urbana miljöer, såsom trädplanteringar i gatumiljö, regnbäddar, gröna tak och intensivt nyttjade gräsytor, växer under tuffa förhållanden och tillgången till luft, vatten och näring är ofta begränsad. Försök med biokol i gröna väggar och tak, trädplanteringar samt gräsytor visar att både vitalitet och tillväxt ökar när biokol tillsatts i jorden. Uppföljningar av tidiga försök visar dessutom en tendens till större resiliens mot extrem torka hos de växter som har biokol i jorden. Detta beror troligen på att biokolet ökar odlingssubstratets vatten- och näringshållande kapacitet och därmed växternas tillgång till vatten och näring i torkutsatta urbana system. Detta skulle kunna innebära att växter med biokol klarar längre perioder utan regn, och att planteringar som kräver bevattning kan vattnas mer sällan vilket kan ge minskade skötselkostnader. Även behovet av gödsling kan minska.

Biokol bidrar till att återföra fosfor till jordbruksmarken

Det växtodlingsdominerade jordbruket använder i stor utsträckning mineralgödsel med fosfor, vilket är en ändlig resurs. Det importeras och säljs årligen ca 13 000 ton mineralgödselfosfor i Sverige. Samtidigt producerar de svenska reningsverken varje år ungefär 1 miljon ton slam. Om allt slam användes som gödningsmedel skulle uppemot 7 000 ton fosfor kunna tillföras åkermark, stadsgrönska och trädgårdar. I det perspektivet blir det tydligt att biokol från slam, och även bioagropellets, alger och tång samt park- och trädgårdsavfall som producerats i Sverige har stor potential att försörja det svenska jordbruket med fosfor.

Biokol ökar den biologiska mångfalden

Ängsmarker och annan växtlighet i stadsmiljöer, såsom regnbäddar och trädalléer, stödjer den biologiska mångfalden och kan bidra till att motverka utdöendet av hotade arter. En mångfald av blommor och växter ger dessutom invånarna en varierad stadsnatur att uppleva och återhämta sig i. Detta är värden som är svåra att sätta siffror på.

Försök inom Rest till Bäst visar att biokol kan stödja den biologiska mångfalden i staden genom att i vissa fall gynna etableringen av ängsväxter på bekostnad av mer rudimentära arter vid omvandlingen av gräsmarker till ängsmarker. Det kan även vara positivt vid anläggandet av tillfälliga urbana ängar i asfaltmiljöer.

Biokol bidrar till välmående hav

Biokolets förmåga att binda näringsämnen är inte enbart positivt för vegetationen utan resulterar även i att läckaget av näringsämnen till avrinningsvattnet minskar.

Övergödningen har idag en stor påverkan på den marina och limniska miljön då den leder till algblomning, syrebrist och bottendöd. Den ökade algblomningen leder dessutom till att stora mängder fintrådiga alger och tång produceras längs de svenska kusterna. Enbart i Skåne rensas 83 000 ton alger och tång årligen bort från stränderna för att göra dem mer tilltalande för badgäster, något som medför stora kostnader för kustkommunerna. Ett minskat läckage av näringsämnen till havet kan bidra till att den ekologiska statusen i havet förbättras samtidigt som kostnaderna för kustkommunerna minskar.

Biokol ger nya ekonomiska möjligheter

Den snabbt ökande efterfrågan på biokol har lett till flera nya investeringar i produktionsanläggningar för biokol. Detta är en helt ny näringsgren som håller på att växa fram i Sverige, vilket genererar livskraftiga företag och ett ekosystem av varor och tjänster. Grunden för användningen av biokol är dess egenskaper, vilka ger mervärden som kunden är beredd att betala för. I basen av näringskedjan finns råvaruleverantörerna, vilka nu ser möjligheter att omvandla kostsamma restprodukter till värdefulla startmaterial.

Referens

Enell A et al., 2020. Biokol – från organiskt avfall till resurs för nyttiggörande av jordavfall. Syntesrapport, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-09-15.

Svensk certifiering av biokol

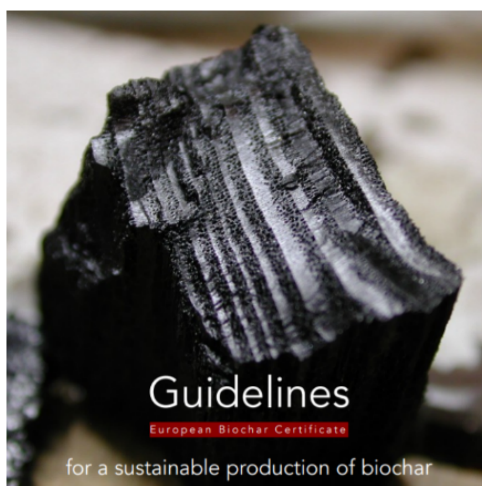
Författare: Mattias Gustafsson och Lotta Ek

Certifieringssystemet EBC ställer krav på biomassa (råmaterial), produktion och biokol. För att underlätta kontroll och användning av biokol inom Sverige har en referensgrupp tagit fram en svensk bilaga till EBC med justerade krav på innehåll av bly, kadmium och silver.

European Biochar Certificate

Organisationen European Biochar Foundation har tagit fram en frivillig europeisk certifiering för biokol: *European Biochar Certificate* (EBC). Certifieringen är uppdelad i olika kategorier beroende av hur och var biokolet ska appliceras.

Certifieringen innehåller även en lista över de biomassor som är godkända för produktion av certifierat biokol samt godkända gränsvärden för innehåll av föroreningar i biokolet. Regler och krav för EBC beskrivs i dokumentet *Guidelines European Biochar Certificate*.



Svenska förutsättningar

Godkända gränsvärden för föroreningar i material som får appliceras till jord skiljer sig åt mellan olika europeiska länder. Sverige ställer i flera fall hårdare krav på till exempel innehåll av bly (Pb) och kadmium (Cd) än vad många andra länder gör.

Den biomassa som är tillgänglig och intressant för produktion av biokol skiljer sig även den mellan olika länder. I Sverige har vi till exempel en betydande skogsindustri och ett etablerat system för insamling av biomassor från urban miljö.

Den svenska produktionen av biokol växer kraftigt, men trots att nya pyrolysanläggningar etableras kan inte den allt större efterfrågan tillgodoses. I jakt på biokol importeras restprodukter från grillkolsproduktion. Utan analyser på biokol och kontroll på produktionen riskerar vi att konsumenter köper förorenat kol i tron att det är biokol. Det riskerar i sin tur att skada biokolets trovärdighet som produkt och, i förlängningen, hela branschen.

Inom gruppen ekologiska lantbrukare började intresset för biokol växa tidigt. Ansökan om att godkänna biokol inom ekologisk produktion påbörjades redan 2015 och det godkändes i december 2019. Merparten av Sveriges ekologiska lantbrukare ingår i KRAV och i samtal med dem klargjordes att för applicering av biokol inom KRAV-certifierad produktion krävs en spridningsberäkning för olika ämnen.

Behov av svensk certifiering

Företaget EcoTopic AB inkluderades som partner i Rest till Bäst under 2019 med huvudsaklig uppgift att se över behov och inriktning för en eventuell svensk certifiering för biokol.

Organisationer och nyckelpersoner med relevant kunskap bjöds in till två workshops med syfte att ta fram förslag på hur en svensk certifiering av biokol bör genomföras. Den första workshopen resulterade i ett majoritetsbeslut om att Sverige bör utgå ifrån EBC och komplettera med en svensk bilaga för att dra fördel av det omfattande arbete som redan har gjorts med den europeiska certifieringen.

Nära samarbete med EBC

EBC:s grundare Hans-Peter Schmidt deltog under båda workshopparna för att svara på frågor om EBC. Våra önskemål om att skapa en kategori för biokol i ekologisk odling mottogs positivt och inkluderades i den nya versionen av den europeiska certifieringen som antogs i september 2020. Även önskan om att justera kravet på renhet i biomassa

för att möjliggöra användning av park- och trädgårdsavfall för biokolproduktion fick gehör.

Avloppsslam känsligt

Hantering av avloppsslam är ett växande problem globalt. Pyrolys av slam har potential att bli en lösning. I samtal med Naturvårdsverket och Svenskt Vatten meddelar de att gällande krav för avloppsslam inom Naturvårdsverkets Slamförordning och Svenskt Vattens kvalitetssystem Revaq gäller även för pyrolyserat slam.

På EBC:s lista över godkända biomassor för biokolproduktion är avloppsslam inte inkluderat. Dock påpekar EBC att de önskar att intresserade aktörer skickar in en ansökan om bedömning av avloppsslam. Det finns ett intresse från EBC:s sida av att se över alternativ för att kunna inkludera avloppslam på ett eller annat sätt.

Under diskussioner inom referensgruppen lyftes frågan om biokol berörs av Naturvårdsverkets krav för mark klassad som Mindre Ringa Risk (MRR), Mindre Känslig Mark (MKM) och Känslig Mark (KM). I samtal med Naturvårdsverket framkom att biokol inte kan klassas inom dessa definitioner.

En svensk bilaga till EBC

Arbetet med att utreda vad som berör biokol inom svenska regelverk men inte omfattas av EBC resulterade i en svensk bilaga till EBC. Den svenska bilagan innehåller sänkta gränsvärden för bly (Pb) och kadmium (Cd) för kategorin EBC-Agro samt krav på analysvärde för silver (Ag) inom kategorin EBC-AgroBio. European Biochar Foundation är positiva till att anta den svenska bilagan vid nästa uppdatering av EBC, vilken kommer att ske under 2021.

Biokolhandbok för användare

Författare: Ann-Mari Fransson och Ulrika Jönsson Belyazid

Inom ramen för Rest till Bäst har en handbok om biokol som riktar sig till potentiella biokolsanvändare tagits fram. Den innehåller bland annat information om vad biokol är, varför man ska använda det, biokolets egenskaper och kvaliteter, risker med biokol samt konkreta exempel på hur biokol kan användas i svenska urbana miljöer.

Biokol är en av flera lösningar som kan bidra till att minska koldioxidhalterna i atmosfären och skapa en långsiktig kolsänka i marken. Användningen av biokol måste dock ske på ett klokt och vetenskapligt baserat sätt där både positiva och eventuella negativa effekter lyfts fram på ett tydligt och informativt sätt. Syftet med handboken var att sammanställa och presentera den kunskap som idag finns om biokol och dess användning i svenska urbana miljöer samt inspirera till nydanande klimatsmarta projekt med biokol. En viktig del i handboken utgörs av de resultat som kommit fram inom projektet Rest till Bäst.

Genom att arbeta mot utvecklingen av en standard för biokol, kartlägga egenskaperna hos biokol som har producerats av olika restmaterial och vid olika pyrolystemperaturer samt identifiera positiva och negativa effekter hos olika typer av biokol vill vi ge biokolsanvändare konkreta tips och råd om hur biokol kan användas, vad man bör tänka på vid användningen och hur man väljer ett biokol som passar ens syfte.

De exempel på hur biokol kan användas som lyfts fram i handboken inkluderar bland annat trädplanteringar, regnbäddar, perennplanteringar, gräsytor, gröna tak och väggar samt torvsubstituering.

Förhoppningen är att kontinuerligt kunna uppdatera handboken i takt med att vår kunskap om biokol växer. Handboken finns att ladda ned från Rest till Bästs hemsida (www.biokol.org).

Innovationer och affärsutveckling

Författare: David Andersson, Jenny Bengtsson, Markus Paulsson och Håkan Rosqvist

Affärsmöjligheter för biokol finns i alltifrån restprodukthantering till förädling av biokolsprodukter. De många potentiella användningsområdena ger ett högt värde, och när det dessutom finns ett underskott på biokol producerad i Sverige stiger priset. Ett för högt pris kan dock hämma användningen, och den måste öka om vi ska kunna tillgodoräkna en stor kolsänka.

I biokolets värdekedja finns det flera användare, kravställare, kunder och marknader. Grovt kan man dela in dessa i: 1) leverantörer av restprodukter som råvaror till biokolsproduktion, 2) biokolsproducenter som köper eller tar emot råmaterial, 3) energiköpare (till exempel ägare av fjärrvärmenät), 4) köpare av kolsänkan och 5) användare av biokol. Det är framförallt de två sistnämnda som skapar efterfrågan och därmed driver marknaden.

Stor efterfrågan och nya möjligheter

I urbana miljöer ökar efterfrågan på vegetation som kan användas för klimatanpassning. Trädplanteringar i gatumiljö, regnbäddar och gröna tak projekteras till exempel för att fördröja och rena dagvatten och undvika uppkomst av värmeöar. I dessa miljöer utsätts växter för extrema påfrestningar genom att tillgången till luft, vatten och näring ofta är begränsad. Bland projektörer och beställare finns kännedom om att biokol genom sina jordförbättrande egenskaper i substrat och uppbyggnader kan ge bättre förutsättningar för växterna. Efterfrågan på biokol ökar därför. Biokol skapar dessutom förutsättningar för nya odlingssätt i urbana miljöer, till exempel för intensivt utnyttjade gräsytor som fotbollsplaner.

Flera projektpartners har under projektets gång utvecklat sina biokolaffärer. Ett av de bästa exemplen är Vegtech som infört biokol i sin sedummatta för gröna tak. Mattorna ligger just nu i odling och kommer ut på marknaden under 2021. Även de fotbollsplaner med biokol som just nu testas runtom i Sverige av Skånefrö är ett nytt och spännande kommersiellt koncept. Här är målet att ersätta konstgräsplaner genom att bygga nya fotbollsplaner på biokolbäddar, och med en ny gräsfröblandning som ger starkare tvärbindning mellan plantorna. Spelbarheten ökar därmed, och även skötseln kan underlättas.

Flera förfrågningar om att nyttja biokol som fodertillskott och filtermaterial har dessutom kommit in till projektledningen.

Ökad inhemsk produktion krävs

Merparten av den biokol som används i urbana växtbäddar är idag producerad utanför Sverige. Även om det finns kännedom om biokolets jordförbättrande egenskaper är kunskapen betydligt sämre om vilka egenskaper som är viktiga hos biokol och/eller hur man kan värdera biokol i olika applikationer utifrån dess egenskaper. Följden blir att valet av biokolprodukt styrs av priset (som varierar mellan 5 000 och 15 000 kr per ton), och inte av kvaliteten på biokolet.

Det finns därför en stor potential i att öka produktionen av biokol i Sverige. Fler producenter av biokol bör leda till ett sänkt pris och ökad användning, något som förhoppningsvis breddar kompetensen och resulterar i att efterfrågan på biokol av en viss kvalitet och för specifika applikationer ökar. Vår vision är att så småningom kunna föreslå ett rättvisande jämförpris, men så långt har vi ännu inte kommit.

I projektet har certifiering av biokol studerats och lyfts som en viktig del för utveckling av marknaden. Certifiering kan användas för att kvalitetssäkra produktionen av biokol, men för att skilja på olika kvaliteter vid användning saknas alltså ännu riktlinjer och anvisningar.

Restprodukter blir nyttoprodukter

De restflöden som har undersökts i projektet kan generera en intäktsström för ett biokolsystem, då det oftast finns en avyttrings- och hanteringskostnad för restmaterialet. Slamhantering, till exempel, kostar idag i genomsnitt cirka 500 kr per ton avvattnat slam i kvittblivningskostnad. Dessa uppströms intäktströmmar kan stödja en stor del av ett biokolsystems ekonomi. De nedströms produkter som skapas från slam har visats ha goda eller mycket goda analysvärden och kan därmed generera slutprodukter med högt ekonomiskt värde. Den totala hanteringsutmaningen kan därmed balanseras genom intäktsströmmar från restprodukten och biokolprodukten. Intresset för att

göra biokol av slam ökat markant under projektets gång. Detta på grund av att en SOU-utredning finns ute på remiss gällande hållbar slamhantering.

Utsläppsminskning som produkt

Den utsläppsminskning som biokolet skapar (se avsnittet om kolsänkepotential hos biokol) kan säljas som en separat produkt. Det går alltså att generera intäktsströmmar baserat på biokolets negativa utsläpp, vilket projektpartnern Ecoera gjort genom att skapa en plattform för ”carbon removal”. Under projektets gång har Ecoera och Ecotopic varit drivande i kommunikationen och samarbetet med andra plattformar, bland annat finska puro.earth och tyska carbonfuture.earth.

Nya initiativ och innovationer

Flera nya initiativ har sett dagens ljus under projekttiden. En av dessa är möjligheten att replikera en systemlösning baserat på Skånefrös anläggning i Hammenhög. Det finns också möjlighet att optimera systemet för andra restprodukter än de bioagropellets som utgör Skånefrös huvudsakliga restflöde.

Inom projektgruppen har det även skapats flera nya tvärsektoriella samarbetsförslag där public-private partnerships kan bygga lösningar såsom nyttjandet av planlagd mark innan byggnation och energiskog kan planteras under väntetiden. Denna energiskog kan sedan skördas innan byggnation och pyrolyseras för att sedan kunna nyttjas som kolsänka och substrat för grön urban infrastruktur.

Svensk representation i EBC har etablerats genom att Ecotopic genomfört två större nationella workshops för att bygga upp ett förslag till en utökad standard för European Biochar Certificate (läs mer i kapitlet om certifiering).

Några projektpartners har även fört samtal med representanter från riksdagen. Det resulterade i att möjligheterna med biokol presenterades i riksdagen i samband med att Statens offentliga utredningar presenterade rapporten “Vägen till en klimatpositiv framtid”[1].

Biokol på frö

På sikt kommer EU att förbjuda många ogräspreparat. Vi kommer då att uppleva större och större problem med ogräsen renkavle, rödsvingel och skräppa. För att hitta en lösning har Skånefrö genomfört försök där frön såddes på normalt sätt och sedan täcktes med biokol. Därefter sprutades marken med en jordherbicid för att oskadliggöra de ogräs som finns i marken. Biokolet visade sig skydda fröet från jordherbiciden, och har därför potential att bli ett nytt sätt att hantera dessa ogräs. Metodiken är nu föremål för teknikutveckling gällande sådd av frörader med täckning av biokol. Bakterier och svampar i biokolet bryter sedan ner jordherbiciden. Innovationen har växt fram som en konsekvens av EU:s framtida regleringar, och är ett fall av utmaningsdriven innovation.

Svensk kolinlagring

Ecoera har diskuterat möjligheterna att koppla samman olika kolinlagringsmetoder med varandra. En variant är att biokol används av lantbrukare. Svensk kolinlagring beräknar biokolets effekt på annan kolinbindning, såsom ökad tillväxt, utöver biokolets kolsänka. Därigenom kan lantbrukaren via plattformen få betalt för den dubbla kolinbindande effekt som biokolet har.



Försök med biokol på gräsfröer (syns som svarta stråk) som Skånefrö har genomfört för att skydda växtplantor mot herbicider.

[1]https://www.regeringen.se/48ec20/contentassets/1c43bca1d0e74d44af84a0e2387bfbcc/vagen-till-en-klimatpositiv-framtid-sou-20204

Utbildning av projektdeltagare

På varje stormöte har olika innovationer och affärsaspekter belysts och olika övningar har genomförts för att stimulera utbytet av idéer inom projektgruppen. Utöver detta har två större workshops genomförts, i syfte att fånga upp affärstänket kring applikationer och innovationer som uppstår inom projektet.

Den första workshopen introducerade ett ramverk för utmaningsdriven innovation baserat på backcasting från hållbarhetsprinciper. Här gavs deltagarna möjligheten att tänka transformativt för att visionera och skapa kriterier för ett framtida tillstånd där biokol skapar effekter som vida överstiger inkrementell förändring. Genom att göra detta tidigt i projektet gav vi ett utrymme för deltagarna att tänka större än i behovsdriven och idédriven innovation.


Affärsworkshop i Rest till Bäst.

Den andra workshopen gav deltagarna ett ramverk för affärsmodeller baserat på Osterwalders Business Model Canvas.

Jämställd affärs- och projektutveckling

Vi har under projektets gång tagit fram förslag på hur jämställdheten kan främjas – i projektet såväl som i affärs- och innovationsutvecklingen kring biokol. Detta har resulterat i att vi: 1) gjort en nulägesanalys med avseende på jämställdhet i projektet, 2) genomfört intervjuer med individuella personer och grupper för att samla in allas perspektiv på verksamheten, 3) spridit kunskap till de delar av den egna organisationen som domineras av det ena eller andra könet och 4) involverat representanter från båda könen från de deltagande organisationerna (där det var möjligt).

Under projektets gång har vi genomlyst projektet och de egna organisationerna utifrån ett jämställdhetsperspektiv. Vi har vidare använt diskussionsmetoder där vi alternerat mellan större och mindre grupper, vilket leder till en större inkludering av olika perspektiv. Vi har också belyst vilken påverkan on-line möten har på jämställdhet.

Nästa steg

Författare: Markus Paulsson, Ann-Mari Fransson, Jonatan Malmberg och Lina Pettersson

Intresset för biokol växer mycket snabbt. Vi hoppas att kunna möta detta intresse med fler och bättre råd om hur man kan utnyttja biokolets fulla potential – som produkt och som kolsänka.

Vi har under projektets gång erfarit ett stadigt växande intresse för biokol. Under 2020 hade projektets hemsida www.biokol.org fler än 3 500 besökare och de stannade i genomsnitt 1,5 minut, vilket är en i sammanhanget betydande tidslängd. Vi har även blivit ombedda att bidra med artiklar till flera olika tidskrifter och projektets försök med biokol i fotbollsplaner och urbana ängar har belysts i svensk dagspress.

Projektparterna har även presenterat biokol i allmänhet och projektet i synnerhet vid ett flertal seminarier, konferenser och utbildningar (bland annat på Skånes energiting 2020 och mässan Elmia Park 2019) och vi har genomfört kurser om biokol i urbana applikationer (i Stockholm, Göteborg och Malmö) med fullbelagd kurs vid varje tillfälle.

Öka kunskapen hos målgrupperna

I inledningen av projektet skickades enkäter ut till projektets målgrupper (totalt 1 269 personer). 17 procent svarade, och baserat på svaren kan man dra slutsatserna att många är nyfikna på och känner sig optimistiska till biokol som produkt och vill lära sig mer om biokol. Inom målgruppen användare uppgav en majoritet att de hade god kännedom om biokolets jordförbättringspotential, men en majoritet var samtidigt osäker på biokolets tillväxteffekter på stadsvegetation. Även på frågan om biokolets potential som kolsänka var en majoritet av alla respondenter osäker på sin kunskap. Eftersom egenskapen kolsänka är central för biokolets nytta kan man dra slutsatsen att det finns ett behov att öka kunskapen bland våra målgrupper om detta.

Hitta rätt biokol för rätt plats

Flera fältförsök och analyser av biokol planerades i ett tidigt skede av projektet, men en försenad produktion av biokol från projektets olika restproduktsflöden gjorde att vi i huvudsak fick använda biokol producerat av bioagropellets i försöken. En fördel med detta är att vi kan jämföra resultaten från de olika försöken. Men vi behöver samtidigt kunskap om hur olika sorters biokol fungerar – för att kunna hitta rätt biokol till rätt plats. Fler fältförsök med biokol producerat inte enbart av bioagropellets utan också av slam, park- och trädgårdsavfall och alger och tång skulle därför behövas.

Biokolets jordförbättrande egenskaper över tid är svåra att fånga i ett projekt som löper under endast ett par år, då uppstart, formering och försöksplanering tar mycket tid. En viktig fråga som inte kunnat besvaras inom ramen för steg 2 är hur växttillgängliga olika näringsämnena (framförallt fosfor) i biokolet är. Vi hoppas dock kunna följa upp fältförsöken och få fram fler resultat under ett eventuellt steg 3.

Identifiera relevanta gränsvärden

Under projektets gång har det fastställts att pyrolys av material som är klassade som avfall av myndigheter kommer att hanteras i enlighet med avfallsförbränningsförordningen. Det ställer större krav på processen än om materialet inte är avfallsklassat. Hantering av denna fråga innehåller kunskapsluckor som kan vara helt avgörande att finna svar på för att möjliggöra pyrolys av avfall.

Andra frågor som kvarstår är om det är relevant att ha samma gränsvärden för biokol till odling av livsmedel som för biokol som används vid anläggning av grönytor i städer eller som filtermedia i till exempel regnbäddar. Det behöver också adresseras hur skyddssystem för att minimera risker kopplade till exempelvis tungmetaller kan utformas.

Hantera tekniska utmaningar

Som alltid när man lär sig mer får man också upp ögonen för det man inte vet. Det finns många tekniska utmaningar kvar, kring förbehandlingen av material och kring själva pyrolystekniken, för att matcha tekniken med användningen av biokolet.

Identifiera nya användningsområden

Det finns också många potentiella användningsområden för biokolet kvar att utforska. Hittills har vi mest använt biokol inom urbana applikationer. Där har vi hittat de tidiga användarna som har varit intresserade av att testa och betala

för olika lösningar. Om biokolets fulla klimatnytta ska nås behöver det användas inom såväl lantbruket som i olika material. Vägen dit går genom att hitta nya lösningar, och kunder som är beredda att betala för dessa lösningar.

Potentialen att använda biokol i olika material har vi precis börjat titta på. Hur stort det skulle kunna bli kan vi i dagsläget bara ana.

Kompensera för nuvarande och historiska utsläpp

Hela samhället måste styra om i en hållbar och klimatsmart riktning. Att minska våra nuvarande utsläpp är helt avgörande, men en del utsläpp är mycket svåra att bli av med. Biokol kan spela en avgörande roll att kompensera för dessa utsläpp och har dessutom potential att kompensera för historiska utsläpp.

Till skillnad från andra metoder för negativa koldioxidutsläpp har biokol en rad andra positiva egenskaper, utöver dess kolinbindningskapacitet. Framförallt handlar det om positiva effekter på vegetation. När träd och växter mår bättre och har en högre tillväxt binder de mer koldioxid, vilket innebär en högre kolinlagring och sekundära utsläppsminskningar.